

## 초음파가공에 의한 박판 버 제거기술

### Ultrasonic Deburring of the Thin Plate

정 언 택\*    신 용 주\*\*    김 병 희\*\*\*  
Jung, Yean-Taek    Shin, Yong-Ju    Kim, Byeong-Hee

---

#### Abstract

The shearing process for the sheet metal is normally used in the precision elements such as a frame of TFT-LCD or lead frame of IC chips. In these precision elements, the burr formation prevents the system assembly and needs the additional burr removing process.

In this study, we have developed the novel ultrasonic deburring system to remove the small burr came from shearing of the sheet metal effectively. The deburring tool is driven by the stepping motor and alumina and SiC particles are used as abrasives. Ultrasonic power and the flowing resistance of the abrasives make it possible to abrasive the burr.

키워드 : 버, 버 제거, 유체 저항

Keywords : burr, deburring, flowing resistance

---

#### 1. 서론

최근의 반도체 전자, 통신, 항공기, 자동차, 의료 기계 등 첨단산업분야의 발전에 따라 정밀 절삭가공은 물론 초정밀 특수가공에 이르기까지 가공기술은 크게 발전하였고 정밀가공 수준은 이제 일반화되어 있는 상태이다. 하지만, 기계가공에서 생기는 버(burr)는 물론이고 특수가공에서 생기는 버의 문제점에 대해서는 아직 크게 관심을 쏟지 않고 있다. 앞으로 산업사회는 코스트와 품질경쟁의 극대화로 고품질, 고정밀도의 제품을 생산하기 위해

서는 최종적으로 발생하는 버의 최소화를 위한 최종공정의 많은 관심과 연구가 요구되고 있다.

버는 가공 중에 혹은 가공 후에 공작물의 가장자리 및 모서리에 발생하는 것으로 기계가공 외에 박판의 블랭킹(blanking) 작업 같은 진단 금형가공에서도 나타나며 주조 가공과 같은 경우에서도 발생한다. 어느 경우에서나 버의 존재가 원치 않은 모서리 부에서의 형상이거나 더 구체적으로는 원치 않은 치수임을 생각하면 넓은 의미에서는 모서리 부의 돌출뿐만 아니라 파단으로 인한 모서리도 버로 규정하고 있다.[1]-[2]

실제로 연성 재질에서는 돌출한 버가 발생하지만 완전 취성 재료는 버가 생성되지 않으나 미소 크랙이나 파괴가 발생하여 결국 모서리부가 파단면으로 존재하기 때문에 거칠고 손상을 입기 쉬운 바람직하지 않은 현상이라 할 수 있다. 버의 크기는 일정한 규칙이 없으나 재료가 연성일수록, 이송량이 클수록, 절삭속도가 낮을수록, 공구경사각이

---

\* 강원대학교 산업대학원 메카트로닉스전공 박사과정  
\*\* 강원대학교 대학원 메카트로닉스전공 석사과정  
\*\*\* 강원대학교 기계메카트로닉스 공학부 부교수, 공학박사

작을수록 버가 발생하는 것으로 알고 있다. 또한 박판 전단 시 발생하는 버는 펀치(punch)의 형상, 클리어런스(clearance), 작업속도 등에 따라 크기를 줄일 수 있으나 완전히 제거하는 것은 곤란하다.[3]

버의 형성은 공작물이 공구의 절삭력에 밀려 생성되며 버는 절삭 가공하는 표면에 거칠기를 결정하는 중요요소가 되며 모서리 부의 치수변화로 다음 공정에 지장을 주어 조립이 불가능해지고 그 기능을 발휘하지 못하며 또한 응력 집중이 발생하여 표면 결함의 원인이 된다. 특히 소성변형으로 생긴 버는 가공경화로 인하여 더욱 단단해지고 불규칙적이어서 다른 부품의 손상을 가져오며 경우에 따라서는 다음 공정을 위한 치공구의 클램핑을 어렵게 하기도 한다. 그러므로 일단 발생한 버는 반드시 제거되어야 하며 가능하면 버의 발생을 방지하거나 허용 가능한 최소한의 크기로 생성되도록 유도하는 것이 가장 바람직한 것이다.

일반적인 버 제거 방법에는 연마제를 이용한 방법, 기계적 공구를 이용한 방법, 열을 이용한 방법, 전기를 이용한 방법, 화학물질에 의한 방법 등 다양한 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 환경오염과 인체에 대한 안전성이 심각하게 부각되는 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다.[4] 여러 가지 디버링 방법들 중 초음파를 이용한 버 제거는 디버링 공구가 닿을 수 없는 부분도 작업이 가능하고, 공작물과 직접적인 접촉이 없으므로 미세 형상의 박판 가공 공작물의 디버링에 적합한 방법이다. 또한 미소 버의 경우 압력이 극부적이고, 연마입자 1회당 가공량은 아주 미세하므로 박판의 정밀도에는 영향을 미치지 않는 장점이 있다.

초음파 디버링 원리는, 초음파 진동자에 의해 발생된 기포의 공동현상(cavitation), 연마입자의 운동에 의한 버 제거로 알려져 있다. 초음파 가공 시 슬러리의 공급을 일정하게 유지시키고, 가공 중에 발생되어 슬러리에 함유되어 있는 칩의 영향을 최소화하기 위해 정량펌프(position pump)를 사용하였다.

본 연구에서는 박판 전단 시 발생하는 미소 버의 효율적인 제거를 위해 초음파 디버링 머신을 설계·제작하여 가공인자(입자크기, 입자종류, 가공력 등)에 따른 버 제거 및 입자의 유동저항을 이용한 버 제거를 고찰하였다.

## 2. 버의 이론적 배경 및 초음파 디버링

### 2.1 박판 블랭킹 시 버 형성

#### (1) 전단 과정

전단금형으로 소재를 전단하는 것은 상하 1쌍의 전단 날(cutting edge)을 사용하여 소재를 절단

하는 것과 비슷하다.

펀치와 다이 사이에 소재(strip)를 넣고 펀치에 힘을 가하면 펀치가 소재를 눌러 날 끝부분에 집중적으로 응력이 발생하게 되고 재료의 표면은 압축력을 받게 된다. 소재의 표면에 발생하는 압축응력은 가공이 진행됨에 따라서 재료의 탄성한도를 넘어서게 되고 소성변형을 일으키게 된다. 이 시기를 전단 과정에서 소성변형이라 한다. 이 때의 가공 소재는 펀치의 날 끝에 의하여 눌러지게 되면 이렇게 눌러진 면을 제품에서는 처짐(shear droop)이라 하고 이 면의 크기는 가공소재의 재질과 두께에 따라서 다르다.

가공이 좀더 진행되면 전단날 끝 부근의 압축응력이 전단 한계를 넘어 이 부분의 소재가 절단되기 시작한다. 이 시기를 전단 과정에서 전단기라 한다 (Fig. 1 (b)). 소성변형기에서 전단기로 가공이 진행될 때 펀치가 다이 속으로 들어가므로 재료의 절단면에 대하여 버니싱(burnishing) 가공을 하게 되므로 전단면은 깨끗하게 된다. 전단기에서 가공이 더 진행되면 소재의 전단강도 이상의 전단응력이 발생하여 소재는 건디지 못하고 파단하게 된다. 이 시기를 전단 과정에서 파단기라 한다. (Fig. 1 (c))

이상에서 설명한 것과 같이 전단금형으로 소재를 가공할 때는 소성변형기, 전단기 및 파단기로 분류한다. 설명한 3가지 전단 과정은 두꺼운 재료일 때 쉽게 알아 볼 수가 있다. 즉, 압축으로 인해 윗면은 둥글게 되며 재료의 흐름이 일어난 전단면은 깨끗하고 파단된 면은 거친 것이 현저히 나타난다.

소재가 마지막 이탈할 때 버가 발생한다. 따라서 제품의 거스러미 방향은 가공법에 따라 다르다.[5]-[6]

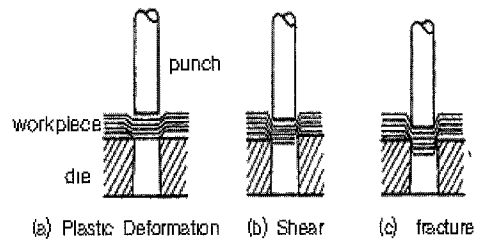


Fig. 1 Shearing process

### 2.2 초음파 디버링의 특징

초음파 디버링의 버 제거는 초음파가공법의 원리를 이용한 것으로 공구에 고주파 진동을 주어

입자를 물과 혼합한 슬러리를 통하여 가공물을 충격 파쇄하는 가공법이다. 또한 입자 1회의 충격에 의한 파쇄량이 미소하기 때문에 정밀도와 표면거칠기가 좋고, 가공물에 큰 변형을 주지도 않으며, 가공물에 미치는 충격력의 범위는 미소하다.[7] 가공 스트레인은 남지 않으며, 입자의 크기에 따라 어느 정도의 비 제거가 가능하다. 그리고 1회 진동 동안의 가공량은 적지만 매초 수백 번의 가공이 이루어지기 때문에 입자에 따라 충분한 가공속도를 얻을 수 있다

박판 블랭킹 시 펀치와 다이의 얼라이먼트 및 간극, 펀치 속도, 펀치의 형상에 따라 비의 발생 크기를 줄일 수 있으나 완전히 제거 하기는 힘들다. 박판 블랭킹 시 발생하는 비는 미소하고 취약한 특성을 가지므로 초음파를 이용하는 것이 기계적인 방법, 화학적 방법 보다 적합할 것으로 여겨진다

본 논문에서는 박판 전단 시 발생한 비의 효율적인 제거를 위해 비의 형성면에 직접 초음파 슬러리를 분사하는 방법과 Fig. 2와 같이 비가 아래로 내려간 상태에서 입자의 유동저항에 의한 비 제거를 비교하였다.

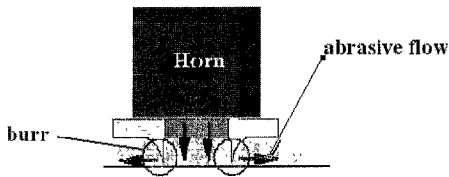


Fig. 2 Ultrasonic Deburring use abrasive flow

3. 실험장치

3.1 초음파 디버링 머신의 설계 및 제작

Fig. 3은 본 실험장치의 개략도를 나타내었으며 초음파 발진부, 모니터링부 및 주축계 등 세 부분으로 크게 나눌 수 있다.

초음파를 발생시키는 발진부는 전원부, 변환기, 혼(horn)부분으로 나눌 수 있으며 발진부의 사양은 Table. 1 같다. 본 실험에서는 주파수가 20kHz, 출력 130W인 초음파 발진기를 사용하였으며, 혼은 지수함수혼, 재질로는 티타늄 합금을 사용하였다.

모니터링부는 일정한 가공력을 유지하기 위한 것으로 초음파 가공은 특성상 혼과 가공물 사이에

있는 슬러리에 의해 간극제어가 어려우므로 Balance Weight 방식으로 가공력을 측정하였다. 저울은 AND사의 HR-200으로 Max 210g, Minium weighing 0.1mg 인 것을 사용하였다.

주축계는 마이크로 이송 및 정압 제어를 위한 스텝모터 이송기구에 나노 위치제어 및 공구 마모 보정을 위한 자왜 소자 구동 이송기구가 추가된 복합 이송형태(hybrid feeding type)로 구성되었다. 자왜소자 구동기의 최소 분해능은 40nm이다. 혼의 연속가압 방식으로, 저울에서 측정된 가공력을 마이크로 프로세서에 의해 처리하여 일정한 가공력을 위해 위치제어가 가능하게 하였다.

Fig. 4는 실제 설계 및 제작된 초음파 디버링 시스템을 보여주고 있다.

Table. 1 Specification of Ultrasonic processors

Power supply	power output : 130 watts Frequency : 20 kHz
Converter	Piezoelectric lead zirconate titanate crystals(PZT)
Horn	Tip diameter : 6mm Titanium alloy · TI-6AL-4V

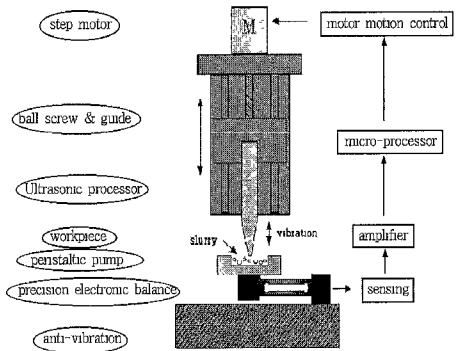
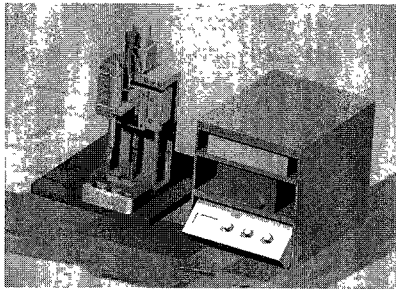


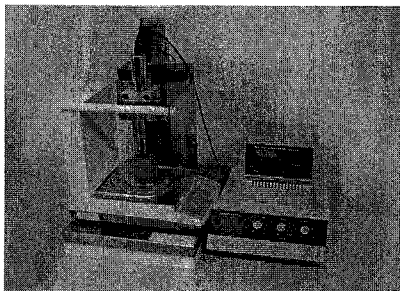
Fig. 3 schematics of ultrasonic system

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 제작된 초음파 디버링 머신을 이용하여 비 제거 시 가공인자의 변화에 따른 가공 특성을 고찰하기 위하여 Mesh number가 #320, #600, #2500인 알루미늄( $Al_2O_3$ 계 WA입자), 탄화규소(SiC계 C, GC입자)를 사용하여 입자크기의 변화에 따른 비 제거를 관찰하였다.



(a) solid model



(b) photograph of system

Fig. 4 ultrasonic machine

실험에서 사용된 가공물은 알루미늄 박판(0.2t)이며, Micro NCT에서 3\*3사각편치에 의해 발생된 버를 사용하여 실험하였다. 실험에 사용한 기본적인 실험조건은 Table. 2와 같다.

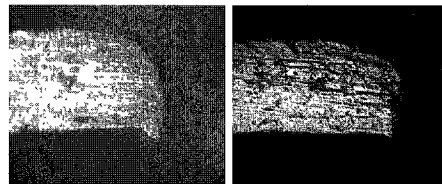
Fig. 5는 동판(0.05t)에 발생된 버를 알루미늄(A입자:#320)와 물의 비율을 50wt%로 섞은 슬러리로 가공력 2g을 유지하며 5분간 실험한 박판의 전단면을 100배 확대한 광학현미경 사진이다. 그림에서 보여지듯이 순수한 버는 확실하게 제거되었음을 확인 할 수 있으며 여러 가지 다양한 입자에 의한 더 많은 실험으로 추가 검증이 되어야 할 것이다.

#### 4.1 가공력에 따른 가공 특성

Fig. 6은 가공력에 따른 버 제거를 전자주사현미경(SEM)촬영으로 35배 확대한 사진이다. 메쉬번호가 #320인 탄화규소(SiC계 C입자)를 이용하여 가공력 0.7g(Fig. 6(b)), 1.2g(Fig. 6(d)), 2g(Fig. 6(f)) 등으로 5분간 실험하였다. 0.7g, 1.2g 에서는 크게 버 제거 정도의 구별하기 힘들었다. 이 부분에 대하여는 좀더 엄밀한 실험이 뒤 따라 할 것으로 여겨진다. 하지만 2g에서는 버 제거가 비교적 빠른 것으로 나타나고 있다.

Table. 2 Experimental conditions

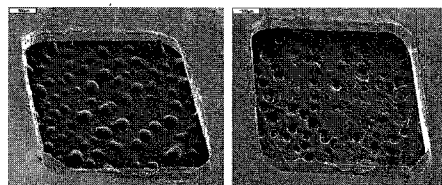
Abrasive	GC #320(40 μm), #600(20 μm), #2500(5 μm)
	C #320(40 μm), #600(20 μm), #2500(5 μm)
	WA #320(40 μm), #600(20 μm), #2500(5 μm)
Tool dia	6mm
Slurry	50 wt % ( water · abrasive)
Workpiece	Aluminum(0.2t), copper(0.05t)



(a) before ultrasonic deburring

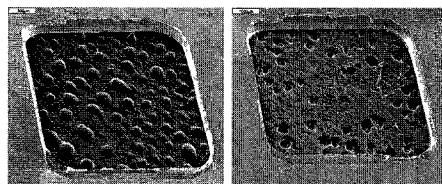
(b) after ultrasonic deburring

Fig. 5 Observation of burr before and after ultrasonic deburring



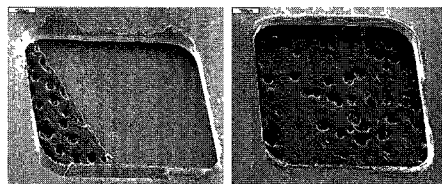
(a) before US

(b) after US(0.7g)



(c) before US

(d) after US(1.2g)



(e) before US

(f) after US(2g)

Fig. 6 Burrs against deburring forces

4.2 가공 입자 크기, 종류에 따른 가공 특성

Fig. 7과 Fig. 8은 탄화규소(SiC계 C입자)와 알루미늄( $Al_2O_3$ 계 WA입자) #320번, #600에 의한 알루미늄 박판의 버 제거의 전, 후 가공결과를 전자주사현미경(SEM)으로 35배 확대한 사진이다. 가공 조건으로는 가공력 2g, 가공시간 5분간으로 실험하였다. Fig. 7 (b), (d), (f)에서 보면 Fig. 7 (a), (c), (e)의 박판의 버가 상당히 제거되었음을 알 수 있었으며, C측이 WA에 비하여 버 제거 속도가 빠른 것으로 관찰 되고 있으나 그 차이는 명확하지는 않다. 이에 대한 보다 엄밀한 연구가 뒤따를 필요가 있다.

버의 높이는 너무 작아서 사실상 측정하기 어려우며 laser에 의한 비접촉식 방법으로 측정한다면 좀더 정량적이 데이터를 얻을 수 있으리라 여겨진다.

Fig. 8은 입자를 #600을 사용한 것으로 버 제거 전, 후의 버의 크기가 역시 감소하고 있으나 그 크기도 작아짐을 알 수 있었다.

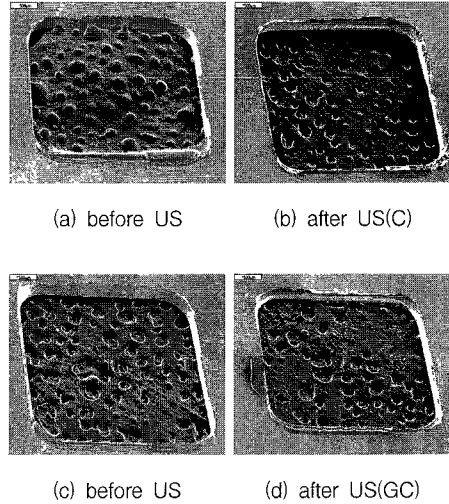


Fig. 8 Burrs against abrasives

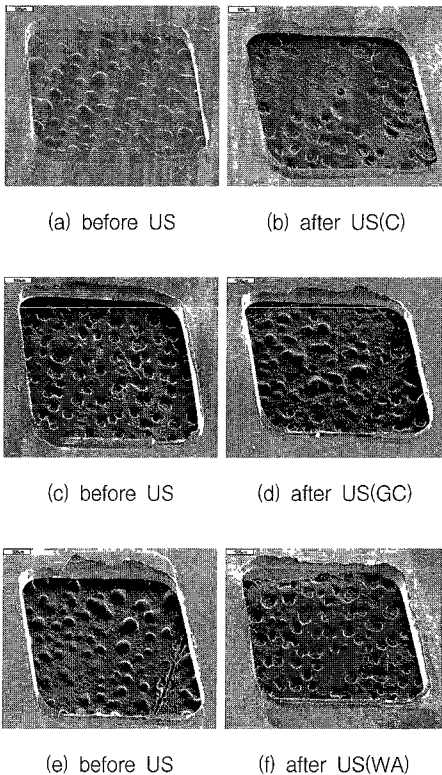


Fig. 7 Burrs against abrasives

5. 결론

초음파 디버링머신에 의한 박판 버 제거 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 초음파 디버링머신을 자체 설계, 제작하여 초음파 가공 수행 결과 버 제거에 좋은 결과를 얻었다.
- 2) 유체 저항을 이용한 버 제거를 수행하므로 써 버 제거 속도 효율을 증가 시켰다.
- 3) 박판 버 제거 시 알루미늄계 WA입자보다는 탄화 규소계 C입자가 더 잘 제거되었다
- 4) 입자크기(#320, #600)에 따른 실험 결과 버의 정확한 높이를 측정하기 어려워 버 제거에 큰 차이를 관찰하기 어려웠으나 입자의 크기가 큰 쪽이 유리한 것으로 관찰되었다.
- 5) 미소 버가 형성된 펀치의 끝단부를 제외한 부분에서는 초음파에 의해 원활한 버 제거가 이루어지지 않았다. 강성이 있는 버에는 부적합한 방법이나 미소 박판의 구멍 주위에는 매우 취약한 버가 발생하므로 초음파에 의한 버 제거가 가능하였다. 앞으로 실험에 의해 좀더 추가적인 타당성이 검증되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 고성립, "Burr형성 원리의 이해와 적정 버 제

- 거방법의 선택”, 제1회 정밀 표면가공 및 디버링 기술 워크샵(BEST-K '96), pp.11-32, 1996
- [2] 고성립, “블랭킹 시 발생하는 미소 버의 측정 및 해석”, 제3회 정밀표면가공 및 디버링기술 워크샵 (BEST-K '98), pp.19-45, 1998
- [3] 홍남표, 신용승, 최근형, 김병희, 장인배, 김현영, 오수익, “미세 박판 가공을 위한 마이크로 NCT 제작에 관한 연구”, *한국정밀공학회 2001년 추계학술대회논문집*, pp.300-304, 2001
- [4] Gillespie, L. K.(ed), “Deburring Technology for Improved Manufacturing”, *Society of Manufacturing Engineers*, Dearborn, 1981
- [5] 임영호, *특수가공*, 기전출판사, pp.153-165, 1996
- [6] 이준희 외, *프레스 금형*, 한국산업관리공단, pp.24-29, 2002
- [7] H. Ming, S. Wang, Louis Plebani, and G. Sathyanarayanan, “Ultrasonic machining,” *Manufacturing Science and Technology*, Trans. Of ASME, Vol. 2, pp.169-176, 1997