

# 미세 펀칭 구멍의 디버링 특성에 관한 연구

안병운\*, 최용수<sup>+</sup>, 박성준<sup>++</sup>, 윤종학<sup>+++</sup>

## A Study on the Characteristics of Deburring for Micro Punching Holes

Byung-Woon Ahn\*, Yong-Soo Choi<sup>+</sup>, Sung-Jun Park<sup>++</sup>, Jong-Hak Yoon<sup>+++</sup>

### Abstract

In micro hole punching process the burr occurs inevitably, but the burr must be minimized in order to improve the quality and accuracy of the product. In this study, magnetic field assisted polishing technique is applied to remove the burr which exists in nozzles for ink-jet printer head and proved to be a feasible for deburring by experiment. The deburring characteristics of sheet metals was investigated changing with polishing time. After the deburring, the burr size has remarkably reduced and roundness of the hole also has improved.

Key Words : Magnetic Field Assisted Polishing (자기연마), Burr (버), Deburring (디버링), Micro Hole Punching (미세 홀 펀칭), Magnetic Abrasive (연마입자), Quill (연마공구)

## 1. 서론

최근에 각종 생산제품 및 부품들이 점차 미세화 되어가고 있으며, 이를 바탕으로 마이크로/나노 기술의 일부로서 각종의 미세부품제작 기술에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.<sup>(1)(2)</sup> 미세 부품에서는 부품의 크기가 작아질수록 상대적으로 공정의 어려움과 소재의 결함이 큰 문제로 작용한다.

미세 펀칭을 이용한 미세 구멍 가공은 여러 산업분야에서 응용되는데 잉크젯 프린터 헤드의 노즐, IC 패키징에서 필요한 비아 홀(via hole), 연료분사 노즐, 각종 센서와 필터 같은 미세 구멍 등이 대표적인 예이다. 이러한 미세 홀을 가공하는 방법은 미세 펀칭공정 이외에도 미세 드릴가공, 레이저 가공, 미세 방전가공, 미세 초음파 가공 등 여러 가공법이 있지만 생산성과 비용 절감 그리고 가공 홀의

\* 주저자, 서울산업대학교 대학원 기계공학과 (dme18@snut.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울산업대학교 기계공학과

++ 연세대학교 NT연구단

+++ 서울산업대학교 기계공학과 교수

형상 반복 정도 등에서 볼 때 미세 펀칭 기술은 큰 이점을 갖고 있다. 실제로 최근 산업 현장에서는 직경 100 $\mu\text{m}$  내외 혹은 그 이상의 미세 홀이 펀칭 공정에 의해서 양산되고 있으며 직경 수십 마이크로의 미세 홀 펀칭 기술 또한 연구되고 있다.<sup>(3)</sup>

정밀 부품의 미세 구멍 가공에서 발생하는 버(burr)의 상태와 표면가공의 결과는 제품의 성능을 크게 좌우한다.<sup>(4)</sup> 구멍 가공시 필연적으로 버는 발생하며, 이때 발생하는 버를 완벽하게 억제하기는 어렵다. 이런 버를 제거하기 위하여 기계적인 방법으로는 연마제를 이용한 바렐이나 브러시를 이용한 방법등이 있고, 화학적 방법으로 에칭이나 초음파를 이용한 방법 등이 사용되고 있다.<sup>(5)(6)</sup> 하지만, 제품 생산 공정의 거대화화 자동화를 통하여 제품의 생산 단가를 낮추기 위한 노력에 비하여, 제품의 품질과 수명에 결정적인 영향을 미치는 버와 디버링(deburring)기술의 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다.<sup>(7)</sup>

이에 본 연구에서는 미세 펀칭 공정으로 주로 이루어지는 잉크젯 프린터 헤드의 노즐용 박판 미세 구멍에 생성되는 버를 제거하기 위하여 초정밀 연마에 적용성이 연구되고 있는 자기연마법(magnetic field assisted polishing)을 적용하여 마이크로 디버링 특성을 분석 평가하였다.

## 2. 자기연마기술의 적용

자기 연마법은 자성입자와 연마입자를 이용하여 소재를 가공하는 방법이다.

자기연마공정의 핵심 요소는 균일한 자기력 발생장치와 기능성 입자인 자성연마입자가 있다. 자기연마가공 원리는 자력발생장치에서 발생하는 자력에 의하여 자성연마입자를 구속하는 방식이다.

간략하게 설명하면 Fig. 1에서 나타내듯이 자력 발생장치로는 전자석을 이용하였으며, 전자석의 코어를 연마공구(quill)로 하였다. 연마공구와 공작물사이에 간극(gap)을 주고 그 공간에 자성연마입자를 슬러리 형태로 공급하게 되며 전류를 통해 자화된 자성연마입자는 공작물까지 사슬구조로 정렬되며 이것이 유연성을 가진 연삭숫돌이 되는 것이다.

가공압력은 Fig. 2에서 나타내듯이 자력에 의하여 자성연마입자가 사슬구조로 정렬되면서 연마공구와 가공물사이의 간극에 따라서 가공압력이 형성되며 가공물이 자성체일 경우 보다높은 가공압이 형성된다. 가공압이 형성된 상태에서

연마공구가 일정속도로 회전하면 사슬구조로 정렬된 입자가 회전력을 가지게 되고 이것이 가공력이 되어 가공을 하는 것이다.

자성연마입자는 초정밀 연마공정에서 연마성능의 우수성이 확인된 자성입자와 연마입자가 물리적으로 결합된 형태의 자성연마입자를 선택하여야하며 디버링시 부품의 정밀도에 영향을 주지 않으며 미세한 버를 제거할 수 있도록 자성연마입자의 크기와 연마특성을 고려하여 디버링 조건을 선정 하여야 한다. 또한 가공소재가 비자성체이므로 자성체에 비하여 가공압이 약해지는 것을 고려하여야 한다.

본 연구에서 적용하는 자기연마법의 가공 메카니즘은 기존의 자기연마법에서 크게 벗어나지 않으며, 이를 박판의 미세 구멍 펀칭 후 불규칙한 여러 형태의 버 제거 공정에 적용하기 위해서 기능성 미세 입자인 자성연마입자 선택하였고 연마특성 또한 고려하여 연구를 진행하였다.

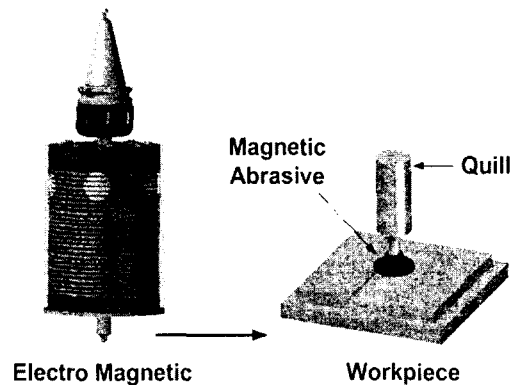


Fig. 1 Structure of polishing process

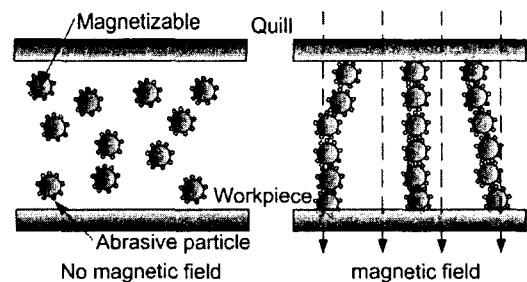


Fig. 2 Chain-like structure

### 3. 미세 구멍 펀칭

#### 3.1 미세 구멍 펀칭시 버의 형상

미세 홀 펀칭(Micro hole punching) 기술은 지름 수십에서 수백 마이크로 미터 크기의 미세 홀을 초정밀 미세금형을 이용하여 가공하는 기술이다. 그러나 미세 구멍의 펀칭 공정시 다이의 구멍과 접촉하고 있는 소재의 밑 부분에서는 크랙과 버가 관찰이 된다. 또한 소재가 펀칭이 되면서 펀칭 공정의 가공 원리에 의하여 돔(dome)과 버의 발생은 필연적이라고 할 수 있다. Fig. 3은 펀칭공정 후 시편의 형상을 나타낸 것으로서 펀칭이 된 시편의 윗면의 처짐을 돔, 그리고 아랫면의 처짐중에서 돔만큼의 처짐을 뺀 것을 버로 정의하였다.

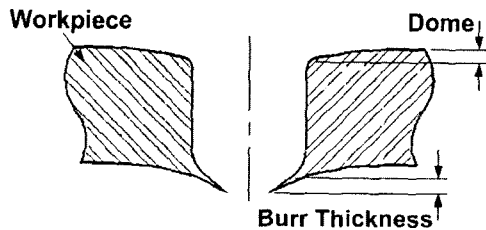


Fig. 3 Definition of dome and burr

#### 3.2 버 제거 기술

미세펀칭공정은 기계적 가공을 이용한 전단공정이라고 할 수 있다. 펀칭공정에서 전단시 여러 변수들을 파악 후 고려하여 필연적이라고 할 수 있는 버의 발생을 최소화 하려는 연구는 많이 진행되었으며 현재도 진행되고 있다. 그렇지만 펀칭공정의 전단시 버의 발생이 감소는 되었으나 발생 자체를 억제하기는 힘들다.

이에 따라 미소 버를 제거하기 위하여 기계적, 화학적 및 초음파등을 이용한 방법이 제안, 연구되고 있다. 본 연구에서는 초정밀 가공의 하나로서의 자기연마법을 적용하고자 하였다. 자기연마법의 가공 원리는 2절에서 나타낸 것과 같이 기계적인 가공방법이라고 할 수 있다. 디버링 방법 중 기계적 방법은 여러 형상의 버 제거 효율은 좋으나 부품의 정밀도에 영향을 미칠 가능성이 크다. 그러나 자기연마법은 미세가공으로서 무품의 정밀도에 영향을 주지 않으면서 여러 형상의 버를 효율적으로 제거하며 표면을 개선하는데 적용성이 높을 것이라고 예상할 수 있으며, 여러 형상의 버를 제거하는데 있어서 버 제거 시 디버링 특성을 버의 높이를 기준으로 평가하여 그 적용성을 파악하고자 하였다.

### 4. 실험장치와 방법

#### 4.1 실험장치의 구성

자기연마가공시스템의 대략적인 구조는 Fig. 4에 나타내었다. 간략하게 설명하면 디버링 전용기계가 아닌 가공에 일반적으로 널리 사용되고 있는 머시닝센터의 주축에 자력 발생장치인 전자석과 연마공구(quill)로 구성된 Magnetic Filed-Assisted Machining head를 콜릿척을 이용하여 부착하였다. 또한 공구교환방식을 통하여 착탈이 용이하도록 설치하였다.

본 연구에서는 균일한 자기장을 발생하도록 전자석에 나멜 코일을 1800회 감고 50V, 5A의 전류를 부가할 수 있도록 설계하였다. 또한 전자석은 장시간 사용시 전류에 의한 발열이 전자석의 자기화 성능에 악영향을 미치기 때문에 전자석의 냉각과 실험에 필요한 시간을 고려하여 자기연마 가공시스템을 구성하였다. 또한 전자석 코어의 역할을 하는 연마공구의 재질은 SM45C로 하였고 다른 구성요소들은 A12024를 사용하였다. 또한 공구의 회전시 진원도를 높이기 위하여 베어링으로 지지하였으며, 누설자장이 생기지 않도록 특수베어링을 사용하였다.

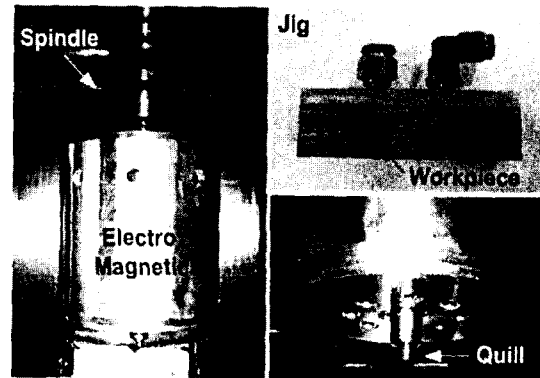


Fig. 4 Experimental set-up

#### 4.2 실험방법

본 실험에 필요한 전자석과 연마공구에 대한 디버링 조건은 예비실험을 참고로 하여 Table 1에 정리하였다. 또한 자성연마입자는 diamond 연마 입자로 제조된 자성 연마입자를 사용하였으며 입자의 크기는 버의 크기를 고려하여 75~125 $\mu$ m로 하였다. 그리고 시간대별로 시편의 후면에 생성되어지는 버의 크기의 변화와 구멍의 진원도를 기준으로 하여 평가하였다. 또한 자기연마를 이용한 디버링공정시 자성

연마입자의 공급은 슬러리 형태로 공급하였다. 예비실험의 결과를 참고하여 미세 구멍 펀칭 공정에서 발생된 버를 제거하기 위한 디버링 실험 조건을 결정하였다.

시편은 잉크젯 프린터 헤드의 노즐부분에 주로 사용되는 스테인레스로서 시편은 미세 구멍 펀칭공정을 통하여 구멍의 크기는 약  $35\mu\text{m}$ 로서 44개의 구멍이 있다. 시편이 박판이므로 가공시 평행도에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 진공펌프를 이용한 지그를 제작하여 고정하였다.

제작한 지그는 자성체인 SM45C의 탄소강을 이용하였고, 안쪽에는 흠을 파서 영구자석을 부착하여 시편의 재질이 비자성체로서 오는 가공압의 변화를 최소화 하였다.

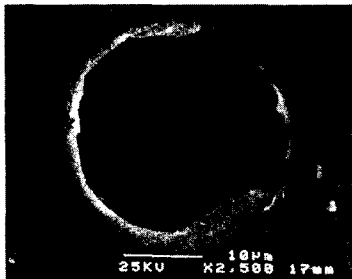
Table. 1 Experimental conditions

Gap (mm)	0.5
Feed (mm/min)	20
Quill Rotation (rpm)	1000
Magnetic Abrasive	Carbonyl Iron and Diamond
Workpiece	Stainless
Magnetic flux strength (T)	0.5
Magnetic Abrasive Size ( $\mu\text{m}$ )	75 ~ 125 $\mu\text{m}$

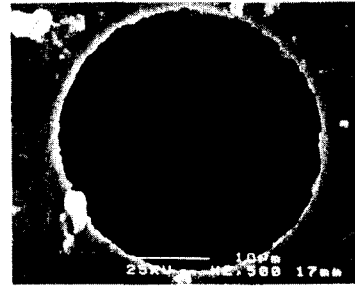
## 5. 실험결과 및 고찰

시간에 따른 미세 구멍의 변화를 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

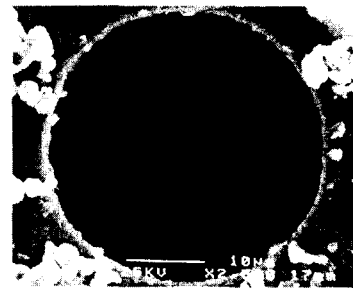
디버링 전의 구멍은 Fig. 5 (a)에 나타난 듯이 미세구멍펀칭공정에 의하여 버가 발생되어 있는 것을 확인하였으며 디버링 공정 없이는 잉크젯 프린트 노즐로서의 성능을 발휘할 수 없다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 5의 (b)와 (c)에서 알 수 있듯이 가공시간에 따라서 버가 제거되면서 구멍의 진원도가 향상되어지는 것을 확인하였다.



(a) Before deburring



(b) After deburring 4min



(c) After deburring 8min

Fig. 5 SEM image of hole (x 2500)

디버링의 특성을 평가하기 위하여 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였지만 2차원적으로서 형상 외에는 관찰을 할 수 없는 단점이 있다. 따라서, 광학식 비접촉 3차원측정장비를 이용하여 시간에 따른 버의 높이를 측정 하였으며 미세 구멍 주위 표면의 변화를 관찰하였다.

디버링 시간에 따라 버의 높이를 측정한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 표에서 나타내듯이 초기 버의 높이는  $0.976\mu\text{m}$ 에서 1분후 36%의 제거율을 나타내었고 4분후 73%, 8분후 92%의 제거율을 나타내었다. 이는 표면에 존재하는 버가 나노단위 크기의 버만이 존재함을 나타내고 있으며 본 실험에서 사용된 자성연마입자와 보다 작은 자성연마입자를 순차적으로 사용하면 나노단위 버를 제거할 수 있다.

Fig. 7은 미세 구멍 주위의 표면을 관찰한 결과로서 디버링 시간에 따라 불룩하였던 초기 표면이 평탄해 지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 디버링 시간이 경과함에 따라서 연마공구의 정회전 방향으로 표면이 변화가 되어지고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 연마공구가 정회전만을 함으로 인하여 자성연마입자가 미세 구멍에 의하여 가공성에 차이가 발생하는 것이므로 디버링 반복시 정회전과 역회전을 반복적으로 진행함으로써 해결할 수 있다.

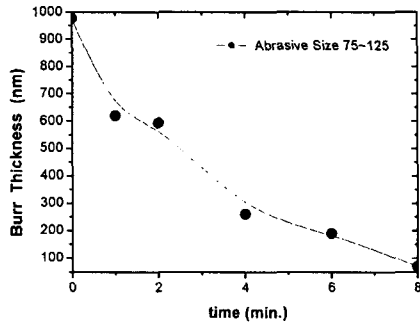


Fig. 6 Burr Thickness

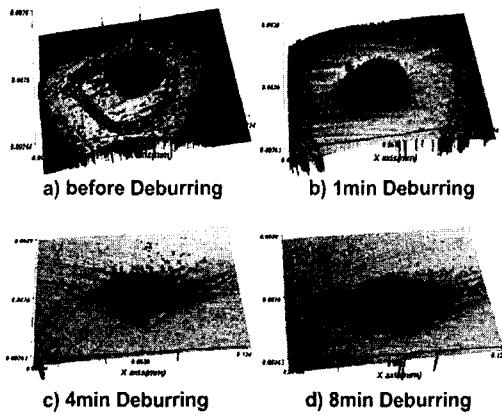


Fig. 7 Polishing result

## 6. 결론

미세 홀 펀칭가공은 수십에서 수백마이크로의 홀을 가공하는 공정으로서 생산성 등을 고려할 때 폭넓게 적용할 수 있다. 하지만, 펀칭 공정의 전단력에 의하여 반드시 뒀과 버가 발생할 수밖에 없으며 펀칭공정에서의 조건 등을 분석하여 적용하여도 완전히 억제하기에는 힘들다.

이에 본 연구에서는 자기연마법을 응용하여 디버링 시간에 따른 버 높이의 제거율을 기준으로 미세 구멍 펀칭 공정에서 발생하는 여러 형태의 버제거에 관한 적용성을 파악하였다.

버 제거에 적합하도록 diamond 연마입자가 결합된 자성 연마입자를 사용하였으며, 초기 버의 높이를 고려하여 75~125 $\mu$ m로 자성연마입자의 크기를 결정하였다. 또한 시

편의 재질이 비자성체로서 가공물이 자성체일 경우에 비하여 가공압이 약화되므로 지그를 제작하여 보완하고자 하였다. 그 결과 초기 버 높이에 비하여 90%이상의 제거율을 나타낼 수 있었으며 이후 적합한 자성연마입자보다 작은 크기의 자성연마입자를 사용하면 제거율을 높아질 것을 예상할 수 있었다. 또한 부품의 표면의 변화가 발생하였지만 가공 방법을 조절하여 변화를 억제할 수 있음을 알 수 있었다.

본 실험을 통하여 미세 구멍 펀칭공정에서 발생하는 버를 제거하는 있어서 자기연마법을 적용하였을 때 충분한 디버링 효과를 얻을 수 있으며 부품의 정밀도에도 영향을 주지 않는다는 것을 확인 하였다.

## 7. 참고문헌

- (1) S. J. Park, B. W. Ahn, J. H. Yoon, 2003, "Development of Ultraprecision Finishing Technique using Bonded Magnetic Abrasives", *Transactions of the KSMTE*, Vol. 12, No 5 pp. 59~66.
- (2) B. W. Ahn, S. J. Park, W. B. Kim and S. J. Lee, 2003, "Ultra Precision Polishing of Micro Die and Mold Parts using Magnetic Assisted Machining", *Proceedings of the KSPE*, pp.1832~1835.
- (3) S. Y. Sin, B. Y. Joo, S. H. Rhim, S. I. Oh, B. H. Jeon, S. M. Yoon, , "Burr Formation Mechanism of Ceramic and PET Double Layer Sheet during Micro Hole Punching Process"
- (4) S. L. Ko, 1998, "A Study for an Efficient Burr Removal of Micro-burr which occurs in Blanking Processing", *Workshop on Precision Surface Finishing and Deburring Technology*, pp. 19.
- (5) F. Z. Chio, S. W. Lee, E. G. Kang, Y. J. Choi, S. L. Ko, 2002, "Technology of Micro Deburring Using the Ultrasonic Vibration", *Proceedings of the KSPE*, pp. 250~253.
- (6) Y. C. Lee, J. Y. Lee, J. H. Kim, J. H. Ahn, J. S. Kim, 2003, "Machining Technology for the Micro-Burr Removal using Electro-Magnetic Field Effect", *Proceedings of the KSPE*, pp. 561~564.
- (7) D. H. Park, S. L. Ko, 2003, "Characterization of Burr Formation and Construction in Micro Drilling", *Proceedings of the KSPE*, pp. 1780.