

복합공정을 이용한 스테인레스 박판 마이크로 노즐 어레이 제작

박성준*, 유영석, 장현석, 김영태, 김순영(삼성전기), 이상조(연세대 기계공학부)

Fabrication of the Micro Nozzle Arrays on a Stainless Steel Sheet Metal by Using Combined Micro Press and Surface Finishing Process

S. J. Park, Y. S. Yoo, H. S. Jang, Y. T. Kim, S. Y. Kim (Samsung Electro-Mechanics), S. J. Lee (Yonsei Univ.)

ABSTRACT

In this study, combined micro press and surface finishing process are proposed to fabricate the micro nozzle array on a stainless steel sheet metal. 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. For this reason, subsequent magnetic field-assisted finishing technique is applied to remove the burr which exists around the nozzles for ink-jet printer head and proved to be a feasible for deburring by experiment. The deburring characteristics of sheet metals were investigated changing with polishing time and magnetic abrasive size. After the deburring, the burr size has remarkably reduced and roundness of the hole also has improved.

Key Words : Micro press (마이크로 프레스), Surface finishing (다듬질 가공), Microhole (마이크로 홀), Magnetic abrasive (자성연마입자), Stainless steel sheet metal (스테인레스 박판), burr (버)

1. 서론

최근 각종 제품이나 부품들이 점차 소형화를 넘어 복잡화, 미세화 되어 가고 있다. 이러한 변화의 추세에 따라 마이크로/나노 기술의 일부인 미세부품제작 기술에 대한 연구의 필요성이 폭발적으로 증가하고 있다. 부품의 초소형화, 초정밀화를 구현할 수 있는 기술 중의 하나로 마이크로 가공기술을 들 수 있는데 주요 기간산업 즉 반도체, 전자, 항공산업 및 자동차등 여러 분야에 적용 가능한 기반 기술로 연구가 활발히 진행되고 있다.

실제 산업현장에서는 마이크로 홀의 고정밀 가공과 고속가공 여부가 중요한 문제이다. 마이크로 홀 가공 기술은 여러 산업 분야에서 활용되고 있는데 대표적인 예로는 잉크젯 프린터 헤드의 노즐, IC 패키징에서 필요한 비아 홀, 연료분사 노즐 등이 있으며 가공 방법으로는 전단가공 방식인 마이크로 프레스를 이용한 공정 이외에도 마이크로 드릴 가공, 레이저 가공, 마이크로 방전 가공, 마이크로 초음파 가공 등 다양한 가공방법이 있다. 하지만 생산성과 비용 절감 그리고 가공된 마이크로 홀의 형

상 반복 정밀도의 관점에서 볼 때 마이크로 펀칭 공정은 큰 이점을 가지고 있다.

마이크로 펀칭 공정은 직경 수십에서 수백 마이크로미터 크기의 미세 구멍을 마이크로 펀치와 초정밀 금형을 이용하여 가공하는 방법이다. 실제 현장에서는 지름 100 μ m 이하의 미세 홀이 마이크로 프레스를 이용한 공정에 의해 양산되고 있다. 하지만 마이크로 프레스 공정에서 펀치와 다이 홀의 위치 맞춤은 홀 크기가 작아지면서 보다 높은 정밀도를 요구하고 있다.

Oh¹ 는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 펀치와 다이 구멍의 위치 맞춤이 필요없는 플라스틱 재료의 다이 플레이트를 제안하였다. 제안된 다이 플레이트를 이용하여 공정 반복도 등이 우수한 직경 수십 마이크로미터 크기의 홀을 제작하였다. 한편, Kanagawa² 는 노즐 플레이트를 마이크로 프레스와 버핑, 래핑 공정을 적용하여 제작할 수 있는 생산 라인을 제안하였다. Ahn³ 은 마이크로 프레스에 의하여 제작된 노즐 플레이트의 토출구 쪽에 발생된 버 제거에 대한 연구를 진행하였다. 디버링 방법으로 MAF(magnetic abrasive finishing) 공정을 제안하여

노즐의 형상 변화없이 버 발생을 최소화 하였다.

본 연구에서는 기존 연구결과를 바탕으로 잉크젯 프린터 헤드에 적용되는 스테인레스 박판 노즐 플레이트 제작에 대한 연구를 진행하였다.

2. 마이크로 노즐

마이크로 홀이 어레이 형태로 적용되는 대표적인 제품으로 잉크젯 프린터 헤드용 노즐 플레이트를 들 수 있다. 노즐 플레이트는 마이크로 홀 어레이로 구성되며 크게 일렉트로 포밍(electro-forming), 실리콘 식각, 마이크로 펀칭 그리고 레이저를 이용한 네 가지 방법으로 제조되고 있다. 이러한 제조 방법은 각각 장단점을 가지고 있다. 하지만 중형비가 크지 않은 경우, 생산성과 가격, 가공 반복정밀도를 고려하였을 때 마이크로 프레스에 의한 제조 방법이 가장 적합하다. 그러나, 마이크로 펀칭에 의한 마이크로 홀 가공은 버의 발생이 필연적이라는 단점이 있다.

잉크의 토출 방법은 여러 방법이 적용되고 있으나 결과적으로 노즐에서 매우 작은 액적의 형태로 분사되는 점은 동일하다. 그러므로 노즐의 형상, 노즐 내부면 상태와 노즐 주위 표면이 토출성을 결정하는데 있어서 매우 중요한 요인임을 알 수 있다.

본 연구를 통해 제작한 스테인레스 노즐 플레이트에 형성된 마이크로 노즐 형상을 주사전자현미경으로 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

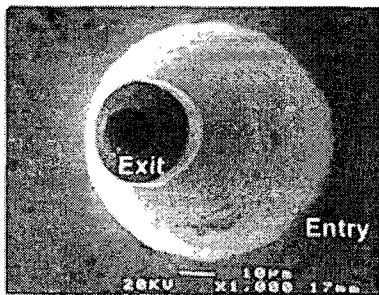


Fig. 1 SEM image of nozzle hole

3. 노즐 어레이 제작

마이크로 펀칭 공정에 의한 노즐 제작 공정은 노즐의 유입구측 단면적이 넓고 토출구측으로는 좁혀진 단면적이 일정 길이만큼 동일한 직선 구간을 갖도록 가공하여 액적의 토출 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 이를 위해서 펀칭 공정 후 필연적으로 발생하는 버와 뎀의 제거를 위해 후가공 공정이 필요하며 이 공정에서 노즐 홀의 위치 공차가 커지는 단점이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 마이크로 펀칭 후에 MAF 공정을 도입하였다. 제작 결과 버 제거 효율이 매우 우수하며 노즐 형상의 변화를 주지 않음을 확인할 수 있었다.

이러한 복합 제작 공정은 Fig. 2에 도식적으로 간단히 정리하였다. 나타내 바와 같이 마이크로 프레스를 이용한 펀칭 공정 I과 펀치에 의해 변형된 부분을 제거하여 원하는 크기의 노즐을 제작하는 공정 II로 구성된다.

복합 제작 공정을 적용한 노즐 플레이트 제작은 기존 제작 공정에 비하여 공정이 간소화되며 제작 시간이 획기적으로 줄어드는 장점이 있다. 또한 노즐의 형성과 버 제거, 그리고 노즐 주위의 표면 품질 향상을 동시에 해결할 수 있으며 노즐 내면과 토출구측 표면품질 향상으로 인하여 우수한 토출성을 기대할 수 있다.

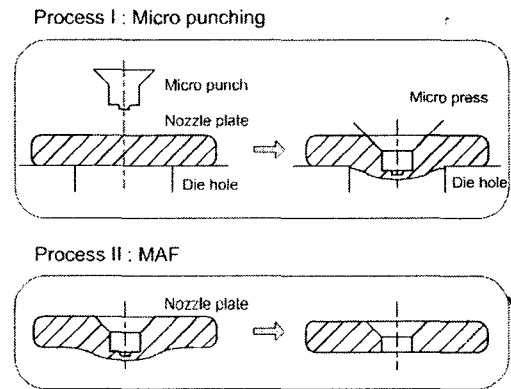


Fig. 2 Fabrication process

3.1 마이크로 펀칭

마이크로 프레스를 이용한 전단공정에는 많은 기술적 문제들이 발생한다. 첫째, 버를 최소화 하기 위한 다이 간극이 문제가 되며 둘째, 펀치와 다이 사이의 위치 맞춤이 필요하다. 이들 문제 중 특히 펀치와 다이 사이의 위치 맞춤은 현재 기술로서 동시에 펀치와 다이를 가공할 수 없기 때문에 절실히 요구되고 있는 실정이다. 전단가공 시 여러 변수들을 고려하여 소재의 변형과 버의 발생을 최소화 하려는 연구는 많이 수행되었으며 현재도 진행되고 있다. 많은 연구를 통해 프레스 공정에서 버의 발생이 많이 감소되었지만 발생 자체를 억제하는 것은 거의 불가능하다.

본 연구에서는 펀치와 다이 홀 간의 간극을 충분히 넓게 유지하여 노즐 플레이트가 전단이 아닌 소성변형만을 하도록 하였다.

마이크로 펀칭 시스템의 개략도와 펀치의 형상

을 Fig. 3 에 나타내었다. 지름 32 μm 의 미세 펀치와 지름 70-200 μm 의 다이 홀을 이용하여 스테인리스 박판을 펀칭한다. 이때 펀치의 팁 지름에 비하여 다이 홀 크기가 매우 크기 때문에 펀칭 공정에 의해 관통 홀이 가공되지 않는다. 하지만 미세 펀치에 의한 노즐 형상이 박판에 모사된다. 노즐 형상이 모사되면서 노즐 플레이트 하부 면이 변형하게 되는데 이 소성변형된 부분을 MAF 공정으로 제거함과 동시에 홀 주위에 남아있는 미세 버를 제거하여 최종적으로 토출구 지름 32 μm 인 마이크로 노즐을 제작할 수 있다.

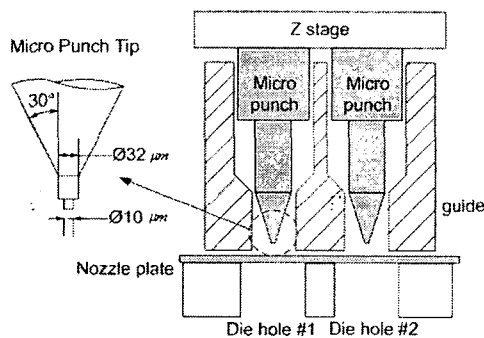


Fig. 3 Micro punching system

3.2 MAF 공정

MAF 공정은 가공물과 공구사이에 존재하는 자기장에 의해 자화 가능한 자성연마입자들이 체인 구조로 배열되어 공구 회전으로 인해 표면을 연마하는 방법이다. 버프나 슛돌에 비해 훨씬 유연한 공구의 역할을 하며 노즐 홀 안쪽으로 진입이 가능하여 노즐에지 부분의 미세 버를 제거하는데 탁월하다. 또한 Fig. 4와 같은 미세한 연마입자를 사용하기 때문에 노즐 부위의 변형이 없이 표면거칠기를 작게 유지할 수 있다. 자기장의 세기나 공구회전속도를 변경하여 가공압력을 변경시킬 수가 있으며 개략적인 공정기구는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

이전 연구를 통해 개발한 결합된 자성연마입자⁵를 사용하였으며, 노즐 홀의 디버링 시 정밀도에 영향을 주지 않으며 미세 버를 제거할 수 있도록 입자의 크기와 연마특성을 고려하여 공정을 진행하였다. 기계적인 버 제거 방법은 버 제거 효율은 좋으나 부품의 정밀도에 영향을 미칠 가능성이 크다. 부품의 정밀도에 영향을 주지 않으면서 소재의 변형 부분과 여러 형상의 버를 효율적으로 제거하며 표면을 개선하기 위하여 입자의 크기 및 가공조건을 달리 하였다. 초기에는 큰 입자를 사용하여 초기 구멍이 빠르게 형성되도록 하였으며, 차후 공정에서 보다 미세한 입자를 사용하여 버의 제거와 노즐 홀 주변의 표면품위를 높이도록 하였다.

Table 1 Experimental conditions

gap (mm)	0.5
feed (mm/min)	20
quill rotation (rpm)	1000
magnetic flux strength (T)	0.6
Workpiece	Stainless steel
magnetic abrasive (grit size)	CIP and diamond (25~75, 75~125, 125~200 탭)

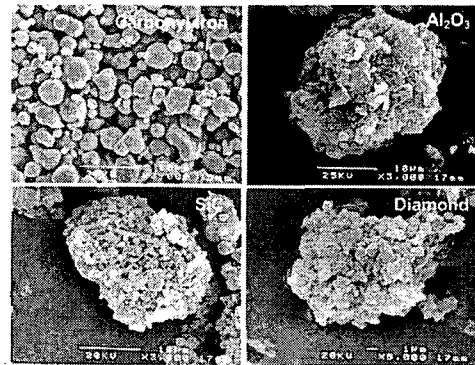


Fig. 4 Magnetic abrasives

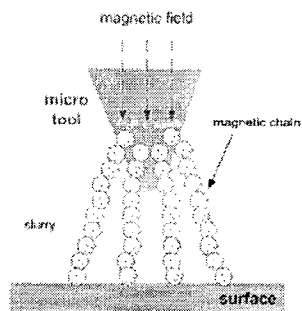


Fig. 5 MAF mechanism

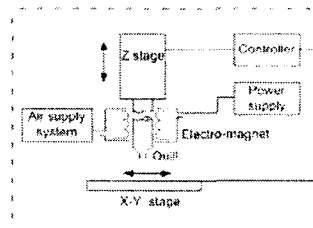
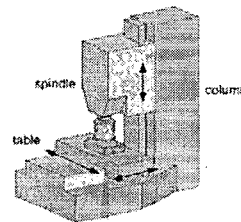


Fig. 6 MAF process system

4. 결과 및 고찰

예비실험 결과를 바탕으로 노즐 지름과 버의 높이를 고려하여 노즐 출구측의 변형과 버를 제거하기 위한 실험조건을 결정하여 Table 1에 정리하였다. 플레이트의 재질은 스테인리스이다. 노즐 형상은 입구측 지름이 75 μm , 출구측 지름은 펀치 지름과 같은 32 μm 이다. 노즐 플레이트는 44개의 홀이 2열로 배치 되어있는 조합으로 구성되어 있다. Fig. 7에 펀칭 후 박판에 형성된 노즐 어레이의 개략적인 모습을 나타내었다.

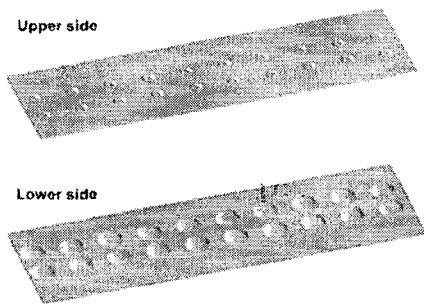


Fig. 7 Micro punched nozzle plate

4.1 버 제거 특성

자성연마입자의 크기와 공정시간을 결정하기 위하여 버 제거 특성평가 실험을 하였다. 본 실험은 노즐 출구측 지름의 확장률과 버 제거율을 기준으로 평가하였으며 실험에 사용한 자성연마입자는 카르보닐기 철입자에 지름 1 μm 다이아몬드 입자가 결합체에 의해 결합된 형태이다. 입자의 크기는 Table 1에 정리하였다.

입자 크기에 따른 노즐 지름의 확장률과 버의 제거율을 공정시간을 기준으로 평가한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 결과에서 알수있듯이 공정시간이 증가할수록 버의 높이가 낮아지며 노즐 지름이 확장되는 것을 알 수 있다. 시간이 증가할수록 버 제거 효과가 높은 것은 당연한 결과지만 자성연마입자의 크기에 따라 이러한 버의 높이와 노즐 지름의 확장에 차이를 나타낸다.

노즐 지름의 확장성을 기준으로 평가한 결과, 버 높이를 기준으로 평가한 것 보다 뚜렷하게 자성연마입자 크기와 버 제거율의 밀접한 관계를 보여주고 있다. 실험 결과에 의하면 입자 크기가 25-75 μm , 75-125 μm 인 경우에는 시간에 따라 버가 제거되기는 하지만 그 효과가 매우 작다. 반면에 크기 125-200 μm 인 입자는 빠른 시간 내에 높은 버 제거율을 나타내며 노즐 지름의 확장이 우수함을 알 수 있다.

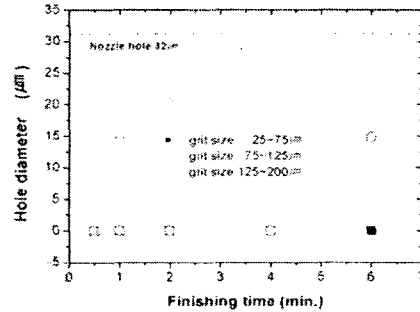


Fig. 8 Variation of hole diameter with abrasive size

4.2 노즐 제작 결과

전절의 특성평가 결과에 의해 버 제거 효율이 가장 우수한 125-200 μm 의 입자를 이용하여 MAF 공정을 진행하였다. 결과를 공정 시간과 노즐 지름의 확장을 기준으로 Fig. 9에 나타내었다. 또한 시간대별 노즐 지름의 확장을 주사전자현미경을 이용하여 측정하여 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10의 결과에 나타낸 바와 같이 공정 시작 시간부터 4분대까지는 노즐 지름의 확장이 급격히 이루어지고 있는 반면에 6-10분대에서는 느리게 확장되고 있다. 이것은 가공압력이나 자기력의 변화 등 기타 가공조건이 변화된 것이 아니라 펀치의 형상에 의한 결과이다. Fig. 10(a)는 마이크로 프레스를 이용하여 제작된 노즐 플레이트의 하부면에 위치한 노즐 형상을 보여 주고 있다. 펀치에 의해 소성변형된 버의 형상을 확인할 수 있다. Fig. 10 (b), (c)는 공정 진행에 따라 노즐 출구 지름이 확장되어 가고 있는 형상을 보여 주고 있다.

Fig. 10과 11을 통하여 버가 제거되면서 노즐 홀의 지름이 확장되고 진원도 또한 향상 되어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 비교적 큰 125-200 μm 자성연마입자만을 사용하게 되면 노즐 주위의 표면이 거칠게 나타나므로 개선이 필요하다.

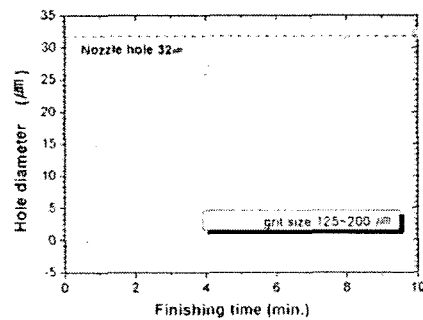


Fig. 9 MAF process result (hole diameter)

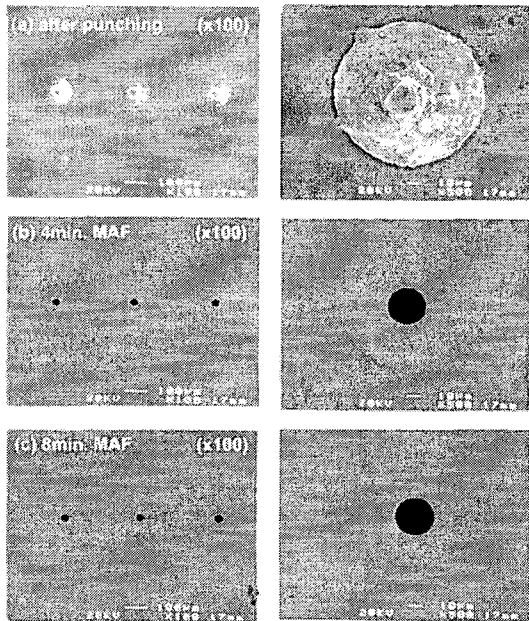
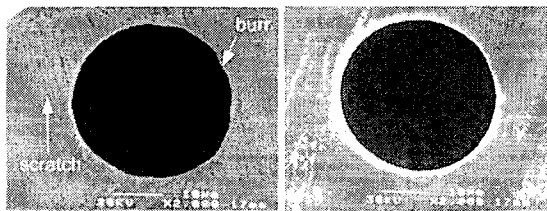


Fig. 10 Variation of nozzle holes with time

최종적으로 MAF 공정은 큰 입자를 사용한 노즐 하부 변형부 및 버 제거 목적의 1차 공정과 미세 입자를 사용한 표면품질향상의 2차 공정으로 진행하였다. Fig. 9에 나타난 결과에 따라 큰 입자에 의한 1차 공정시간은 8분으로 진행하였다. 단계별 공정결과에 의한 표면변화의 결과는 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11(a)는 1차 공정으로서 주로 버를 제거하기 위한 목적으로 125-200μm 크기의 입자를 이용하여 진행하였다. 1차 공정에 의해 노즐 토출구 측 홀 지름의 확장은 펀치 지름 대비 약 96% 정도이다. 노즐 홀 주위의 표면은 큰 입자에 의해 미세한 스크래치들이 존재하며 약간의 버가 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 11(b)는 2차 공정으로서 노즐 홀 주위 표면품위를 향상시키기 위해 25-75μm 크기의 입자를 이용하여 진행하였다. 2차 공정에 의해 노즐 형상의 변형 없이 32μm 크기의 노즐 토출구 측 홀을 나타내었다.



(a) after 1st finishing (b) after secondary finishing
Fig. 11 SEM images of finished nozzle hole

5. 결론

본 연구에서는 마이크로 프레스를 이용한 펀칭 공정과 MAF 공정을 이용하여 스테인레스 박판에 노즐 어레이를 제작하였다. 마이크로 펀칭 공정을 이용한 노즐 제작은 생산성 등을 고려할 때 폭넓게 적용할 수 있으며, 본 실험에서 적용한 펀치와 다이홀 간극을 넓게 유지하는 방법은 정렬오차를 맞추기 위한 별도의 장비가 필요없이 대량의 노즐을 동시에 제작할 수 있는 장점이 있다.

펀칭에 의해 소성변형을 일으킨 노즐 하부면의 버를 효율적으로 제거하는 것과 동시에 노즐 주변 표면품위를 향상시키기 위하여 개발한 초미세 자성 연마입자를 사용하였다. 그 결과 펀칭 시 필연적으로 발생하는 버를 효과적으로 감소시켜 정확한 크기의 노즐제작이 가능하였으며 노즐의 품질이 향상되었다.

참고문헌

1. Shin, S. Y., Kim, B. H., Kim, H. Y., Oh, S. I., *딥 study on the Burr formation in sheet metal shearing*, Journal of KSPE, Vol. 19, No. 9, pp.166-171, 2003.
2. Kanagawa, K., *Method and apparatus for producing a nozzle plate of an ink-jet head printer?* European Patent No. EP0858893B1, 2004.
3. Yoon, J. H., Ahn, B. W., Park, S. J., *딥 deburring characteristics of small punching holes using micro press*, Transactions of the KSMTE, Vol. 13, No. 3 pp. 61-67, 2004.
4. Park, S. J., Ahn, B. W., Lee, S. J., *Nano-scale precision polishing characteristics using micro quill and magnetic chain structure?* Journal of KSPE, Vol. 21, No. 8, pp.34-42, 2004.
5. S. J. Park et al, *발 etnod for manufacturing magnetic abrasive particle by mechanical alloying*, Patent No. 0456234, 2004.
6. S. I. Oh, "Technical Development of Micro Hole Punching," Journal of KSME, Vol. 42, No. 6, pp. 36-41, 2002.
7. S. L. Ko, "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, 1998.
8. Y. C. Lee, J. Y. Lee, J. H. Kim, J. H. Ahn, J. S. Kim, "Machining Technology for the Micro-Burr Removal using Electro-Magnetic Field Effect," Proceedings of the KSPE, pp. 561-564, 2003.