

마이크로 역 전해 드릴링과 그루빙 Microelectrochemical Reverse Drilling and Grooving

*#류시형¹, 유종선², 김형철²

*#S. H. Ryu(ryu5449@chonbuk.ac.kr)¹, J. S. Yu², H. C. Kim²
¹전북대학교 기계공학과, ²전북대학교 대학원 기계공학과

Key words : Electrochemical machining, Micro reverse drilling, Micro grooving, Citric acid, Tungsten microelectrode, Stainless steel

1. 서론

마이크로/나노 기술의 발달과 함께 미세 형상의 가공, 제조, 조립, 제어 기술의 중요성이 커지고 있다. 마이크로에서 나노미터에 이르는 구조물, 부품, 센서, 액츄에이터는 자동차, 정보통신, 정밀기계, 의학, 생명공학 산업에 점차 그 수요가 증대할 것으로 예측된다.¹ 미세 가공 기술 가운데 마이크로 전해가공 기술이, 가공특성이 지닌 다양한 장점으로 인해 최근 많은 주목을 받고 있다.^{2,3} Ahn은 펄스 전해방식을 이용하여 스테인레스 스틸에 미세 구멍을 가공하고 전해 조건에 따른 구멍의 형상과 가공 간극의 크기를 고찰하였다.⁴ Kim은 미세 방전을 이용하여 특수 형상의 공구 전극을 제작하고 구멍 가공이나 캐비티 가공에서 형상 정밀도를 향상시키는 연구를 수행하였다.⁵ Park은 대면적 미세 전해가공 기술 개발을 위해 전극 어레이를 제작하고 초단펄스의 순차적 분배를 통해 다수의 미세 구멍을 동시에 가공하였다.⁶ Ryu는 환경친화적 전해가공 기술을 개발할 목적으로 구연산 수용액에서 미세 구멍이나 캐비티를 가공하는 연구를 수행한 바 있다.^{7,8} 본 연구에서는 두 가지의 새로운 미세 전해가공 아이디어를 제안하고 실험을 통해 가능성을 확인해 보았다. 첫째, 미세 드릴링 가공시 전해 속도를 높일 목적으로 역 전해 드릴링을 시도하였으며, 둘째, 그루브 가공의 효율성을 높이기 위해 스테인레스 스틸 박판을 이용한 미세 홈가공을 수행하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 미세 전해 가공 시스템의 사진이다. PI NanoCube 스테이지와 컨트롤러, HP 8116A 펄스발생기, Tektronix TDS2002 오실로스코프와 SNU precision의 비전시스템이 전해가공과 가공 모니터링 장비로 사용되었다. 가공 후 JEOL 6400 전자현미경과 Zygo NewView 5000 표면형상 측정기를 이용하여 형상과 치수, 표면거칠기 등을 측정하였다.

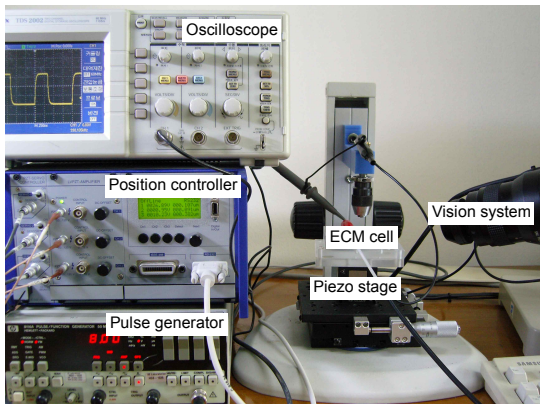


Fig. 1 Micro electrochemical machining system

2. 마이크로 역 전해 드릴링

초단펄스를 이용한 마이크로 역 전해 드릴링 시 가공 깊이가 깊어질수록 이송속도가 느려지고 전극간의 갭은 단락이 발생한다.⁷ 이는 가공 깊이가 깊어질수록 용해된 금속 이온이 생성되는 버블에 의한 강제 대류나 확산에 의해 미세 간극 밖으로 원활히 배출되지 못하기 때문이다. 이러한 문

제를 해결하기 위하여 마이크로 역 전해 드릴링을 시도해 보았다. 마이크로 역 전해 드릴링은 미세 공구 전극을 전해셀의 안쪽에 위치시키고 공작물을 전해셀의 위에 고정시킨 후, 공구 전극이 위치한 전해셀을 아래에서 위쪽으로 움직이면서 드릴링하는 방법으로 개략적인 형상은 Fig. 2와 같다. 공구 전극이 위에 위치하여 아래에 놓여 있는 공작물을 뚫어 나가는 일반 전해 드릴링 공정과 공구 전극의 위치가 정반대이다. 가공 간극에 존재하는 용해된 중금속 이온이 중력에 의해 아래 방향으로 원활히 배출되도록 의도한 것이다. 직경 10 μ m 텅스텐 와이어를 미세 드릴척에 고정하고 전해셀 내부에 위치시킨다. 버블에 의한 공구 전극의 흔들림과 전해액이 공구 전극 전체를 덮는 전해액 브릿지 현상으로 전기장이 분산되는 것을 방지하기 위하여 공구의 오버행은 1.5mm로 하였다.⁸ 전해액은 0.3M 구연산 수용액을 사용하였으며 Fig. 2와 같이 표면장력에 의하여 공작물 시편의 아랫 부분에 부착되어 있다. 정방향 전해 드릴링 공정에서와 같이 공구 전극의 오버행이 길어지면 전극의 흔들림에 의해 드릴링이 원활하지 않았다.⁸ Fig. 3은 50 μ m 두께의 SS 304 시편에, 펄스 길이 400nsec, 오프 타임 전압 -3.6V, 펄스 최대 전압은 11.0V 조건에서 역 전해 드릴링을 이용하여 미세 구멍을 가공한 사진이다. 공구 전극의 이송속도는 0.2 μ m/sec이며, 입구 직경은 29 μ m, 출구 직경은 23 μ m로 가공되었다. 동일한 조건에서 정방향 드릴링에 비해 가공속도가 평균 50% 가량 증가하였으나, 가공 깊이의 증가는 예상과 달리 뚜렷이 관찰되지 않았다.⁸ 이는 미소한 가공 간극에서 레이놀즈 수가 감소하여 점성의 효과가 상대적으로 커짐으로써 중력에 의한 금속 이온의 배출이 원활하지 않기 때문으로 생각된다. 금속 이온의 배출 효과를 극대화하기 위해서는 전해액에 초음파 등을 추가하는 방법이 함께 고려되어야 할 것으로 보인다. 공작물의 두께가 30 μ m 일 경우 1.0 μ m/sec 이송속도에서도 단락현상이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

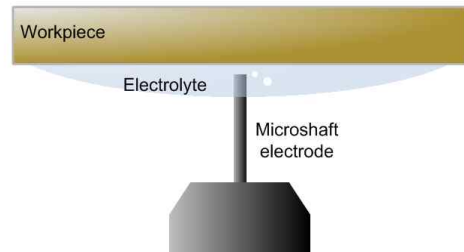


Fig. 2 Microelectrochemical reverse drilling

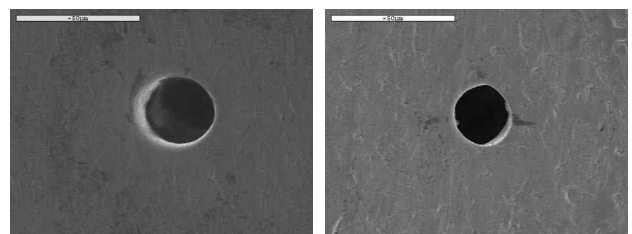


Fig. 3 Micro drilled hole of 29 μ m entry and 23 μ m exit diameter by electrochemical reverse drilling on SS 304 plate

3. 박판을 이용한 마이크로 전해 그루빙

미량의 유체가 흐르는 마이크로 채널이 마이크로 연료 전지, 액추에이터, 열교환기, 마이크로 칩 냉각 장치 등에 사용되고 있으며, 바이오 분야에서 수요가 급증할 것으로 예상된다. 금속에 마이크로 채널을 가공하는 방법으로 프레스, 기계적 압입, 레이저 가공, 방전가공, 전해가공 등이 사용될 수 있다. 여타의 가공법에 비해 전해가공은 가공면의 거칠기가 매우 우수한 공정으로 알려져 있다. 전해가공에서 미세 축의 이송을 통하여 밀링 방식으로 그루브를 가공할 수 있으나 가공시간이나 형상 정밀도의 측면에서 한계성을 갖는다. 본 연구에서는 이러한 그루빙 방법을 개선시킬 목적으로 스테인레스 스틸 박판을 공구 전극으로 이용한 미세 홈 가공 방법을 제안하였다. 금속 박판을 이용한 마이크로 그루빙의 개략적인 형상은 Fig. 4 와 같다.

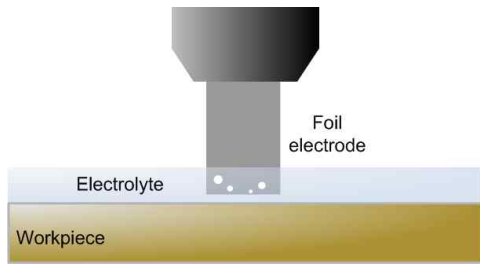
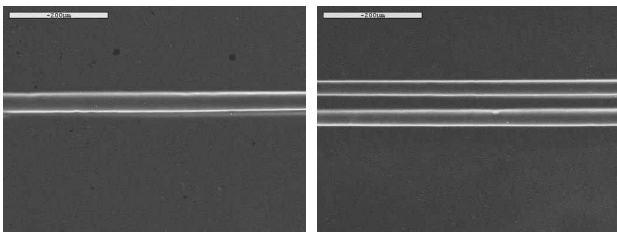


Fig. 4 Microelectrochemical grooving with thin foil electrode

Fig. 5 는 두께 20 μm SS 304 박판을 공구 전극으로 하여 SS 304 에 미세 홈을 가공한 사진이다. Fig. 5(a)에서 전극의 이송속도는 0.03 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 이고 오프 타임 전압은 -1.6V, 펄스 최대 전압은 8.6V 이며 펄스의 길이는 400nsec, 주파수는 1 MHz 이다. 가공된 홈의 폭은 42 μm , 깊이는 18 μm 이며, 가공면의 표면거칠기 Ra 는 11nm 로 측정되었다. 가공된 미세 홈의 형상과 표면거칠기가 우수함을 확인할 수 있다. Fig. 5(b)는 공구 전극을 이송하여 두 개의 홈을 가공한 것으로 홈의 폭은 34 μm , 깊이는 17 μm 이며, 가공된 형상으로부터 가공의 반복 정밀도가 우수함을 알 수 있다.



(a) single line groove (b) double line groove

Fig. 5 Microgrooving with SS 304 foil electrode of 20 μm thick

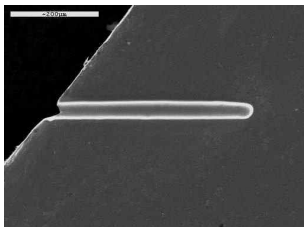


Fig. 6 Microgroove on the specimen edge

Fig. 6 은 SS 시편의 가장자리에 미세 그루브를 가공한 사진으로, 가공깊이는 51 μm 이다. 본 실험을 통해 형상 정밀도와 표면 거칠기가 우수하고 가공속도가 크게 개선된 방법으로서, 박판을 이용한 미세 전해 그루빙의 유용성을 확인할 수 있다. 전해 가공을 통해 기계 가공에 의한 버의 발생이나 레이저 가공에 의한 비산 금속의 재증착, 방전에 의한 공구마모의 문제점 등이 해결될 수 있다. 따라서, 본

연구는 미세 채널이 많이 사용되는 바이오 분야나 마이크로 연료전지 분리판 채널 등 초소형 기계 부품 가공에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

미세 전해 드릴링과 그루빙 공정에 대한 새로운 방법을 제안하였다. 가공 속도를 향상시킬 목적으로 드릴링의 방향을 아래에서 위로 향하도록 하는 역 전해 드릴링 공정과 미세 채널가공에서 박판 금속을 공구 전극으로 사용하여 형상 정밀도와 표면 거칠기를 개선하면서 가공 시간을 단축시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 역 전해 드릴링을 통하여 50 μm 두께의 SS 304 에 입구 직경 29 μm 와 출구 직경 23 μm 의 미세 구멍을 가공하였으며, 정방향 가공방법에 비해 전해 조건에 따라 이송속도를 1.5 ~ 5 배까지 개선시킬 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 가공 깊이 측면에서는 역 전해 드릴링 방법에 의한 뚜렷한 효과가 관찰되지 않았는데, 이는 미소 가공 간극에서 레이놀즈 수가 줄어들어서 점성 효과가 상대적으로 커지게 되어 중력에 의한 금속 이온 제거가 원활하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 또한 두께 20 μm 의 SS 304 박판을 공구 전극으로 이용하여 스테인레스 스틸에 폭이 30 ~ 40 μm 에 이르는 미세 그루브를 가공하였다. 미세 축 공구 전극에 비하여 가공 시간이 크게 단축되었으며, 박판 공구 전극의 강성 증대 효과에 의해 형상 정밀도와 표면거칠기가 매우 우수한 그루브를 가공할 수 있었다. 본 연구 결과는 미세 전해 드릴링의 이송 속도 개선과 전해 그루빙에서의 형상 정밀도 및 가공성 향상에 기여할 것으로 생각된다. 역 전해 드릴링에서의 가공 깊이를 증가시키는 문제는 전해액에 초음파 부가 방안 등을 고려하여 추후 연구하고자 한다.

후기

이 논문은 2008 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00041).

참고문헌

1. Madou, M. J., Fundamentals of Microfabrication, 2nd Edition, CRC Press, 2002.
2. Schuster, R., Kirchner, V., Allongue, P. and Ertl, G., "Electrochemical Micromachining," Science, 289, 98-101, 2000.
3. Rajurkar, K. P., Levy, G., Malshe, A., Sundaram, M. M., McGeough, J., Hu, X., Resnick, R. and DeSilva, A., "Micro and Nano Machining by Electro-Physical and Chemical Processes," Annals of the CIRP, 55, 643-666, 2006.
4. Ahn, S. H., Ryu, S. H., Choi, D. K. and Chu, C. N., "Localized Electro-chemical Micro Drilling Using Ultra Short Pulses," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 20, 213-220, 2003.
5. Kim, B. H., "Taper Reduction by Disk-type Electrode in Micro Electrochemical Machining," Ph. D. dissertation, Seoul National University, 2005.
6. Park, M. S., "Micro Electrochemical Machining Using Multiple Tool Electrodes," Ph. D. dissertation, Seoul National University, 2007.
7. Ryu, S. H., "Micro fabrication by electrochemical process in citric acid electrolyte," Journal of Materials Processing Technology, 209, 2831-2837, 2009.
8. Ryu, S. H. and Yu, J. S., "Electrochemical Machining Using Tungsten Microelectrode," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 26, 134-140, 2009.