

미세 방전을 이용한 3 차원 미세 구조물 제작 및 미세 공구 제작

이영수* · 김보현* · 이상민* · 주종남* · 강영훈** · 최태훈*** · 박훈재***

Fabrication of 3-D Micro Structure and Micro Tool Using MEDM

Y. S. Lee, B. H. Kim, S. M. Yi, C. N. Chu, Y. H. Kang, T. H. Choi, H. J. Park

Abstract

3-D micro structures and micro tools are fabricated using MEDM (Micro Electric Discharge Machining). To make micro structures, micro electro discharge milling process is applied. During micro electro discharge milling, electrode (tool) wears both axial and radial direction. To compensate tool wear which influences significantly machining accuracy, overlap machining path is proposed. Machining characteristics of micro electro discharge milling is investigated in considering of depth of cut and capacitance of discharge circuit. Micro complex shaped tools are fabricated using REDM (reverse electro discharge machining). Sacrificial electrode is machined through electro discharge milling process and is used as electrode to make micro tools. Using this process several micro tools shape of 'ㄷ', '□' and 'o' are fabricated. With these complex shaped tools, micro machining is successfully applied repeatedly.

Key Words: Micro Electric Discharge Machining, MEDM Milling, Reverse EDM, Micro Structure

1. 서 론

산업 전반에 걸쳐서 미소한 크기를 가지는 제품에 대한 수요가 증가함에 따라서 소형 제품의 대량 생산을 위한 초소형 금형 제작이 필요하게 되었다. 이러한 초소형 금형은 수 밀리미터 이하의 크기를 가지면서 수 마이크로미터 혹은 그 이하의 형상 정밀도를 유지할 필요가 있다. 이러한 초소형 금형의 가공으로 가장 널리 사용되는 방법이 미세 방전 기술이다. 일반적으로 RC 방전회로가 고주파의 방전을 얻을 수 있고, 전류 피크치가 높기 때문에 미세 방전에서 널리 사용되고 있다 [1].

미세 형조 방전이나 미세 방전 밀링 등의 방법으로 제작될 수 있다. 미세 형조방전의 경우 제작하고자 하는 제품의 형상과 동일한 형태의 방전 전극을 사용하여 금형을 제작하는 방법으로 방전 가공 중에 발생하는 전극의 마모 때문에 여러 개의 전극을 가공하여 사용하여야 한다. 이에 반하여 단순한 형상의 전극을 이용하여 밀링과 유사한 형식으로 방전을 수행함으로써 3 차원 구조물을 제작하는 방법을 Yu [2] 등이 제안하였다. 이 방법은 전극의 형상이 단순하기 때문에 전극 가공에 소요되는 시간이 적고, 전극 형상과 상관없이 다양한 형상을 가공할 수 있다는 장점이 있다.

* 서울대학교 기계항공공학부

** K-metro

*** 한국생산기술연구원

그러나 방전만을 통하여 금형과 같은 3차원 형상을 가공하기 때문에 가공시간이 많이 소요되고, 단순 전극 역시 마모가 발생하기 때문에 전극의 마모를 고려하여 가공 경로를 선정하여야 하므로 가공 경로가 복잡해지는 단점이 있다.

본 연구에서는 미세 방전을 이용하여 금형과 같은 복잡한 형상을 제작하는 방법에 대하여 연구하였다. 단순한 형태의 전극을 이용하여 금속 재질의 판에 복잡한 형상을 방전 밀링으로 가공하고 이를 다시 다른 전극에 전사시킴으로써 최종적으로 복잡한 전극을 가공할 수 있었으며, 이를 이용하여 여러 개의 형상을 가공하였다. 또한 미세 방전 밀링으로 3차원 형상의 구조물을 가공하였으며, 이 때 전극의 마모와 벽면에서 발생하는 이차 방전 등으로 인한 형상의 왜곡을 줄일 수 있는 최적의 가공 조건을 선정하였다.

2. 미세 방전 밀링

2.1 미세 방전 밀링 공구의 제작

다양한 형상의 미세 형상을 가공하기 위하여 미세 방전 밀링을 이용하였다. 미세 방전 밀링은 밀링 공정에서 공구 경로를 따라서 공구가 이송하면서 재료를 제거하는 것과 마찬가지로 단계별로 재료를 제거하여 원하는 형상을 만들어 내는 공정이다. 미세 방전 밀링에 사용되는 공구는 크기가 작기 때문에 일반적인 방전에서 절삭으로 공구를 제작하는 방법과는 달리 와이어 방전 가공(Wire Electro Discharge Machining)을 통하여 공구를 제작하였다. 와이어 방전 가공은 보조 전극으로 황동 와이어를 사용하고 이를 지속적으로 공급하기 때문에 보조 전극의 마모에 따른 형상의 오차가 발생하지 않아 정밀한 형상을 가공하기에 적합하다. 와이어 방전 가공의 개략도와 가공된 미세 공구를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 공구의 마모를 고려한 공구 경로 선정

일반적인 형방전의 경우 가공하고자 하는 전면적에 방전을 발생시켜 가공하는데 반하여 미세 방전 밀링은 공구가 조금씩 이송하면서 층별로 가공하기 때문에 공구 이송 중에 마모가 발생하게 된다. 이 때 발생하는 마모는 공작물의 형상 정밀도에 큰 영향을 미칠 만큼 크게 발생하기 때문에 이에 대한 고려 없이는 정밀도 높은 형상을 가공하기 어렵다.

층별 방전 가공에서 발생하는 공구의 마모는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 공구를 일정한 층의 깊이만큼 축 방향으로 이송하는 중에 발생하는 마모로 공구의 아랫면이 둥글게 마모되며, 두 번째는 공구를 평면으로 이송할 때 발생하는 마모로 둥글게 된 공구 아랫면을 편평하게 마모시키며, 축 방향으로 마모가 진행되어 공구의 길이를 변화시키는 역할을 한다.

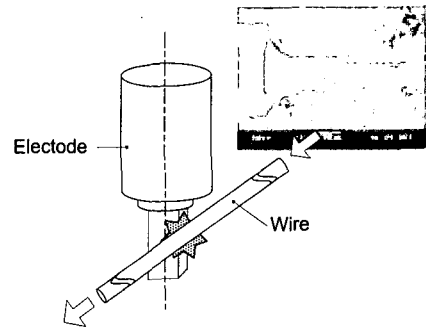


Fig. 1 Schematic diagram of WEDM

방전가공 중에 공구의 마모가 발생하면 공구가 진행함에 따라서 바닥면의 높이가 달라지는 현상을 유발하게 된다. 따라서 본 연구에서는 바닥면 높이를 일정하게 유지하기 위하여 공구경로를 왕복하도록 작성하였고, 각 경로 별로 발생하는 마모가 다르기 때문에 발생하는 경로 간의 높이 차이를 극복하기 위하여 모든 경로의 가공이 동일하게 반복되도록 경로를 선정하였다. 미세 벽 구조물을 제작하기 위한 공구 경로를 Fig. 2에 나타내었다.

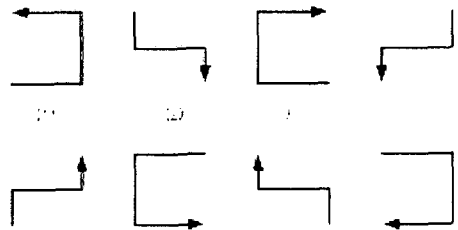
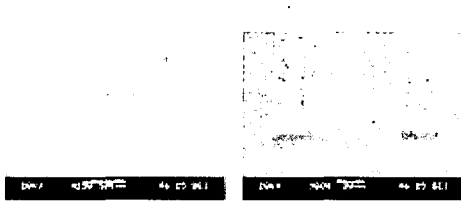


Fig. 2 Toolpaths for machining micro wall

2.3 가공 조건에 따른 가공 특성

미세 벽을 가지는 미세 형상을 가공함에 있어서 단계별 가공 깊이와 축전용량과 같은 가공 조건에 따른 가공 특성을 살펴보고 최적의 가공 조건을 선정할 필요가 있다. 단계별 가공 깊이가 1

~ 5 μm 로 변화함에 따라서 전극의 후퇴 횟수가 증가하고 전극의 마모도 증가하는 것으로 나타났다. 단계별 가공 깊이 1 μm 와 5 μm 에 대한 가공 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. 그림에서와 같이 단계별 가공 깊이가 큰 경우에는 미세 벽의 측면에서 심한 테이퍼 형상이 관찰되고, 바닥면의 왜곡 또한 심하게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 이론적으로 가공 깊이가 5 배가 되면 80%의 가공 시간 단축이 있어야 하지만 실제 가공 시간에서는 22.8%의 향상만이 나타났다.



(a) Depth of cut: 1 μm ;

Machining time: 1 hr 54 min



(b) Depth of cut: 5 μm ;

Machining time: 1 hr 28 min

Fig. 3 Surface and micro structure

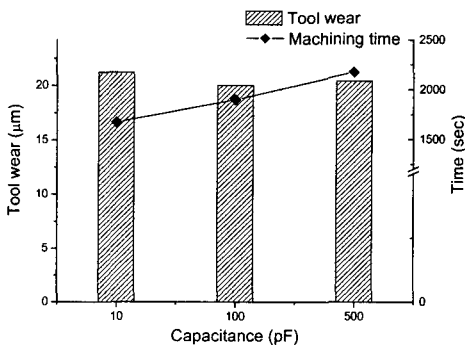


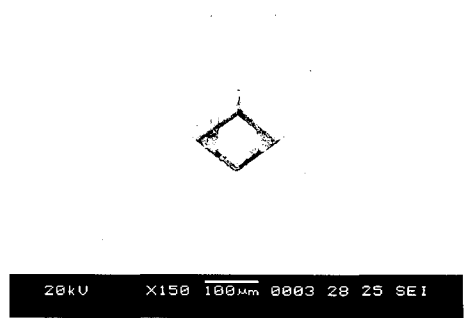
Fig. 4 Machining time and tool wear according to capacitance

축전 용량의 변화에 따른 가공 특성도 살펴본 있는데, 단계별 가공 깊이는 2 μm 로 고정하고 축전 용량을 10 pF, 100 pF, 500 pF 으로 변화시켰다. 이에 대한 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. 공구의 마모는 세 가지의 용량에 대해서 비슷한 수준으로 관측되었으며, 축전 용량이 작을수록 가공 시간이 빨랐다.

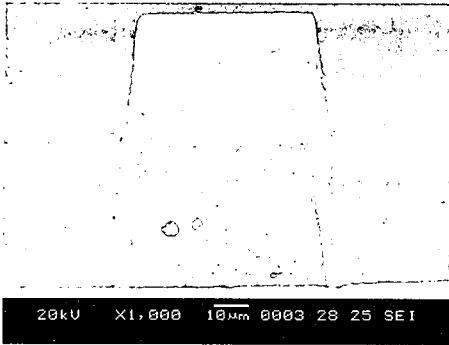
축전 용량이 큰 경우에는 가공 상태가 불안하여 공구의 후퇴 횟수가 크기 때문에 비슷한 공구 마모임에도 불구하고 가공 시간이 많이 소모된 것으로 판단된다. 이와 함께 가공 표면의 경우에는 축전 용량이 작을수록 단발 방전 에너지가 작기 때문에 작은 방전흔을 가지므로 좋은 표면을 얻을 수 있었다.

이로부터 미세 방전 밀링으로 미세 구조물을 제작하는 경우 축전 용량은 작은 것이 유리하고 단계별 가공 깊이도 작은 것이 유리하다는 결과를 얻었으며, 축전 용량과 단계별 가공 깊이가 작더라도 실제 가공시간에서는 손실이 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 이용하여 복합 형상을 가공하였으며 결과는 Fig. 5 에 나타내었다. 이 복합 형상은 중앙에 내부 캐버티를 가지고 바깥쪽에 낮은 홈이 파져 있는 형태이고, 외부의 홈은 회전하는 공구를 사용하여 단계별 가공 깊이 1 μm , 축전 용량 100 pF 으로 가공하였으며, 내부의 캐버티는 단계별 가공 깊이 1 μm , 축전 용량 10 pF 으로 가공하였다. Fig. 5 (b)에서 보이는 내부 형상의 외곽의 코너부의 모서리가 방전 가공 후에도 잘 살아있는 것을 확인할 수 있다. 또한 낮은 축전 용량을 사용하였기 때문에 바닥의 품질도 우수한 것을 확인할 수 있다.



(a) Overall feature



(b) Center island

Fig. 5 Micro structure with complex features

3. 미세 역방전을 이용한 공구 제작

3.1 미세 공구 제작

미세 방전 밀링을 이용한 미세 형상의 제작과 함께 미세 역방전을 이용한 미세 형상의 대량 가공에 대하여 연구하였다. 일반적으로 미세 공구를 제작하기 WEDM 방법을 사용하게 된다. 그러나 이 경우 가공이 가능한 형상이 블록한 형상(convex feature)에 국한되는 경우가 많으며, 오목한 형상(concave feature)을 가공하기 위해서는 별도의 복잡한 치구들이 필요하며, 그 형상에도 큰 제한을 받는다. 이를 극복하기 위하여 희생 전극을 사용하였는데 이를 역방전이라 한다[3]. 역방전으로 미세 전극을 제작하는 과정은 Fig. 6에 나타내었다. 우선 미세 공구를 제작하고 이를 이용하여 희생 전극이 되는 금속판에 원하는 형상을 제작하고, 희생 전극을 이용하여 다시 공구에 그 형상을 전사시키는 순서로 미세 공구를 제작하였다.

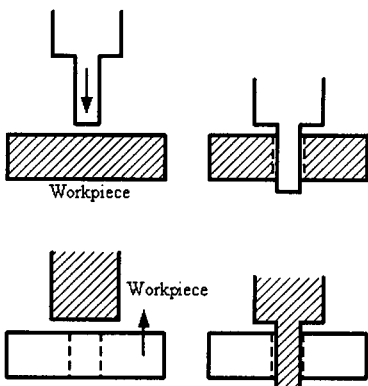
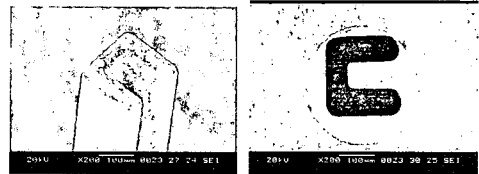


Fig. 6 Micro tool fabrication using REDM

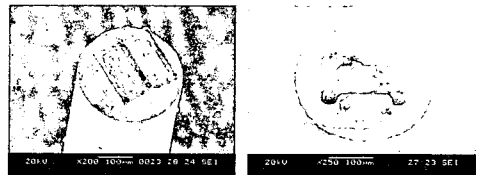
희생 전극의 재료로 구리를 사용하였고, 희생 전극을 가공하거나 최종적으로 얻어지는 전극은 텅스텐 카바이드(WC)를 사용하였다.

제작된 미세 공구 형상을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)에 나타낸 것은 ‘ㄷ’자 형상으로, 한 쪽 면이 오목하게 들어가 있어 일반적인 WEDM 공정으로 제작하기 불가능한 형상이지만, 역방전을 통하여 쉽게 제작할 수 있었다. 오른쪽 사진은 이때 사용된 희생 전극의 형상이다.

또한 Fig. 7(b)에 나타낸 ‘□’형상은 바깥쪽 벽보다 중앙의 벽을 높게 가공하여 단계별로 다른 높이를 가지는 공구를 제작할 수 있음을 보여준다. 이를 이용하여 방전 가공한 형상은 오른쪽 그림과 같이 얻을 수 있었다.



(a) Korean character ‘ㄷ’



(b) Character ‘□’

Fig. 7 REDM electrodes

3.2 역방전을 이용한 다중 전극 제작

미세 역방전을 이용하여 미세 전극의 제작하는 기술을 이용하면 다중 전극을 제작할 수 있다. 여기서 다중 전극이라는 것은 여러 전극이 배치된 것을 의미한다.

다중 전극을 제작하는 방법도 앞서 미세 공구를 제작하는 방법과 유사하다. 우선 원하는 형상을 여러 개 희생 전극에 가공한 후에 이를 한꺼번에 전극으로 전사하는 방법으로 제작된다.

이렇게 제작된 전극을 Fig. 8에 나타내었다. 그림에 나타난 전극은 각각이 50 μm의 직경을 가지는 미세 축을 5×5로 배치한 것이다.

이를 공구로 사용하여 미세 방전을 수행한 것을 Fig. 9에 나타내었다. 방전 가공된 깊이가 작기 때문에 초기의 공구 마모가 작용하여 가공된 미세 형상이 구형에 가까운 형태를 가지고 있다.

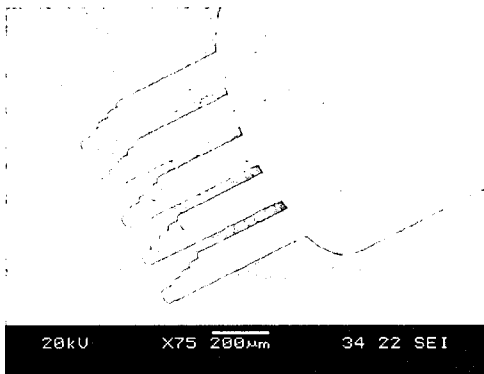


Fig. 8 Multiple electrode

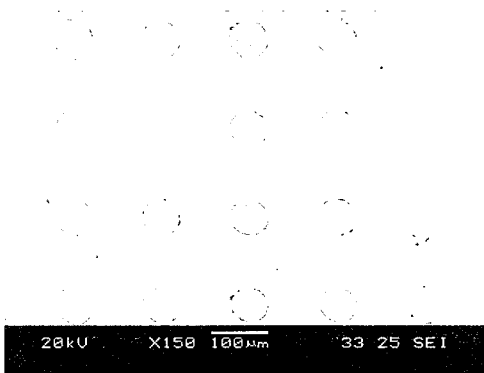


Fig. 9 Micro cavity array

이와 같이 역방전을 이용하여 복합형상의 공구를 제작하고 이를 보다 발전시켜 다중 전극을 제작하였으며, 이렇게 제작된 전극을 이용하여 방전을 수행함으로써 생산성을 향상을 가져올 수 있다.

4. 결 론

미세 방전 기술을 이용하여 3 차원 미세 형상을 제작하였고, 각각의 가공 조건에 따른 가공 특성을 분석하였다. 또한 미세 전극을 역방전을 이용하여 제작함으로써 오목한 형상이나 다층 구조의 형상 공구를 제작하였으며, 이를 발전시켜 다중 전극을 제작하고 이를 이용하여 미세 형상을 한번의 공정으로 대량 가공하였다.

(1) 미세 방전 밀링에서 단계별 가공 깊이와 축전 용량이 중요한 가공 조건이 되며, 단계별 가공 깊이와 축전 용량을 최소화 하는 것이 형상 정밀도 향상에 유리하다. 또한 단계별 가공 깊이와 축전 용량을 최소화 하더라도 가공 시간에서 손실이 크지 않다.

(2) 미세 역방전을 통하여 오목한 형상이나 단계별로 다른 높이를 가지는 복잡한 공구의 형상을 가공할 수 있다.

(3) 회생 전극에 같은 형상을 여러 개 가공하고 이를 이용하여 전극을 가공함으로써 다중 전극을 제작할 수 있었다.

이와 같은 결과를 이용하면 미세 금형과 같은 복잡한 형상을 가지는 3 차원 형상을 가공할 수 있으며, 역방전을 이용한 미세 공구 가공 기술을 이용하면 공구의 대량 제작 및 이를 통한 대량 가공이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) T. Masaki, K. Kawata, T. Masuzawa, "Micro Electro-Discharge Machining and Its Applications," Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System Workshop, pp. 21 - 26, 1990.
- (2) Z. Yu, K. P. Rajurkar, "Generation of Complex Micro Cavities by Micro EDM," Transactions of NAMRI/SME, Vol. 28, pp. 233 - 237, 2000.
- (3) 増沢隆久,やさしいマイクロ加工技術, 日刊工業新聞社, 東京, 2000