

방전/전해 가공을 이용한 미세금형가공

정도관¹ · 신흥식¹ · 최세환¹ · 김보현[#] · 주종남¹

Micro Mold Machining Using EDM/ECM

D. K. Chung, H. S. Shin, S. H. Choi, B. H. Kim, C. N. Chu

Abstract

Recently, the need for micro mold or micro mechanical parts has been rapidly increased. As feature size decreases, conventional machining processes show their limitation. Micro electrical discharging machining (EDM) and electrochemical machining (ECM) have many advantages in micro machining. They can be used to make structures of micro scale, or even nano scale size. In this paper, the application of micro EDM and ECM has been investigated.

Key Words : Micro machining(미세 가공), electrical discharging machining(방전 가공), electrochemical machining(전해 가공)

1. 서론

제품의 대량 생산에 필요한 금형은 흔히 절삭가공이나, 방전 가공에 의해 제작되어 왔다. 특히, 최근 들어 초소형, 초정밀 제품의 수요가 급격하게 증대함에 따라 정밀 미세 금형 제작 기술이 주목을 받고 있다. 이러한 미세 영역의 가공은 기존의 절삭 가공 기술을 적용하기가 용이하지 않으므로 이를 대신할 많은 특수 가공 기술이 연구되고 있다. 기존의 범용 방전/전해 기술과는 달리 미세 방전/전해 가공 기술은 가공 에너지를 매우 작게 유지하면서, 단위 가공 영역을 수 마이크로 이내로 제한시켜 보다 정밀하고 미세한 형상을 가공할 수 있는 기술이다. 미세 금형을 제작하기 위해서는 가공 속도와 가공물의 품질을 고려할 때 높은 방전 주파수를 얻을 수 있고, 전류 피크치가 높은 RC 방전회로가 방전을 일으키는 전원으로 널리 사용되고 있다[1, 2]. 기존의 전해 가공의 경우, 단위 가공 영역이 상대적으로 넓어 미세 형상 가공에는 한계가 있었으나, 최근 개발된 초단 펄스 전해 가공은 수 십 마이크로 크기에서

부터 서브 마이크로 크기의 형상까지 가공할 수 있는 등, 미세 형상 가공에의 응용에 많은 가능성을 보이고 있다. 본 논문에서는 미세 방전/전해 가공을 이용한 미세 형상 가공에 대해 연구하였다.

2. 방전 가공

2.1 방전 가공을 이용한 미세 공구 제작

방전 가공은 절연액 안에서 가공물과 공구를 근접시켜 발생하는 스파크의 열로 가공물을 제거하는 가공 방법이다. 가공물을 최종 형상으로 가공하기 위해서는 목적에 맞는 형상을 갖는 공구가 필요하다. 미세 방전 가공에서는 마이크로미터 단위의 형상을 가공하기 위해 일반적으로 미세 금속봉(metal rod)을 공구 전극으로 사용한다. 본 논문에서는 와이어 방전 가공(WEDM, Wire Electrical Discharge Machining)을 이용하여 초경 합금 봉을 원하는 공구 형상으로 제작하였다[3]. Fig. 1 에 와이어 방전 가공을 이용한 미세 공구 전극 제작 방법을 나타내었다.

1. 서울대학교 기계항공공학부
교신저자: 안동대학교 기계공학부,
E-mail: kimbh@andong.ac.kr

그림과 같이 와이어를 계속 공급해주므로 와이어 마모에 의한 형상 오차 없는 공구 전극을 가공할 수 있다. 와이어 방전 가공을 이용하면 원통형 형상의 공구 전극 뿐 아니라 사각형, 반달형 등의 복잡한 형상의 미세 공구를 제작할 수 있다.

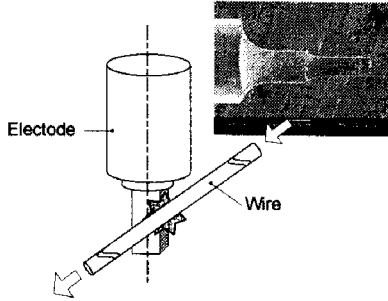


Fig. 1 Schematic diagram of WEDM

2.2 탈이온수 방전 가공

방전 가공에서 절연액은 가공 속도, 공구 마모율, 방전 가공면 등의 가공특성에 영향을 미친다. 등유(kerosene)를 절연액으로 사용하는 경우에 비해 탈이온수를 사용하면 가공 속도는 향상되고, 공구 마모율은 낮아진다. Fig. 2 는 등유와 탈이온수의 가공 속도 및 공구마모 정도를 보여준다. 직경 50 μm 공구 전극으로 1000 μm × 105 μm 크기의 미세 홈을 가공했을 경우 절연액의 종류에 따른 측정결과이다. 전압은 100 V, 축전용량은 400 pF 을 사용하였다. 탈이온수를 절연액으로 사용하면 방전 가공과 함께 전해효과가 더해진다. (+)극에 연결된 가공물은 전해 가공 효과(anodic dissolution)에 의해 가공 속도가 빨라진다. 또한 전해 가공에서는 (-)극에 연결된 공구 전극의 마모가 없으므로 탈이온수를 사용한 방전 가공의 경우가 전해효과로 인해 공구마모가 줄어든다.

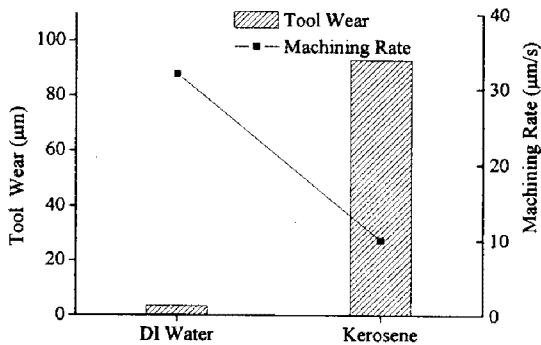


Fig. 2 Tool wear and machining rate according to dielectric fluid.

방전 가공면을 살펴보면 등유의 경우 용융된 가공물이 재응고되어 방전흔(crater) 형상을 이루고 있다. 탈이온수의 경우는 전해 효과로 미세 구멍(pit)으로 표면이 이루어지게 된다. 탈이온수를 사용하면 방전 스파크로 발생한 고온의 열에 의해 용융되고 재응고된 표면이 전해 효과에 의해 표면 구성이 바뀌게 된다. Fig. 3 은 등유를 사용한 경우와 탈이온수를 사용한 경우의 가공 표면을 보여준다.

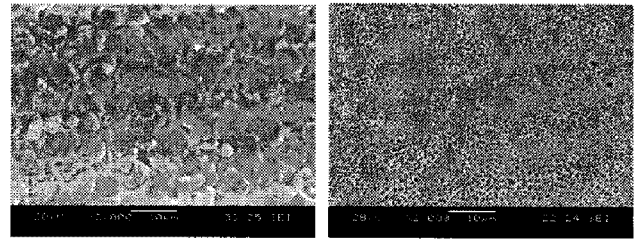


Fig. 3 Surface by EDM using: (a) Kerosene, (b) deionized water

탈이온수의 전해 효과를 이용하면 표면조도가 우수한 가공면을 얻을 수 있다. 전해 가공 간극이 방전 가공 간극보다 크므로 방전 가공된 가공면에 전해반응만을 선택적으로 일으킬 수 있다. 전해 반응시간을 제어함으로써 표면조도가 우수한 가공면을 얻게된다. Fig. 4 는 방전 가공 후 전해효과에 의해 형성된 방전 가공면을 보여준다. 40 V, 400 pF 의 조건에서 탈이온수를 사용하여 방전 가공한 후, 동일한 40 V 의 조건에서 전해반응을 일으켰다. Fig. 5 는 전해 효과를 이용 3 차원 형상 가공 예를 보여준다. 이 방법을 이용하면 후처리 과정이 필요 없는 표면조도가 우수한 미세 금형 형상을 얻을 수 있다.

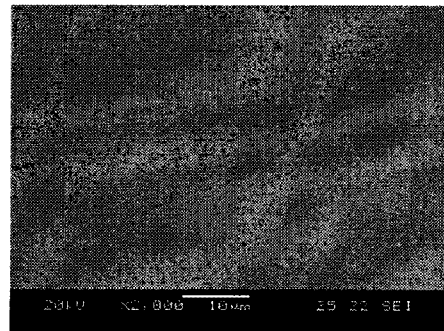


Fig. 4 Surface after ECM treatment using deionized water

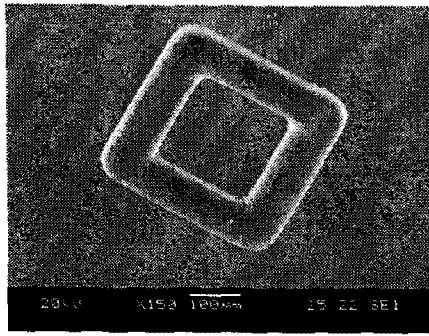


Fig. 5 Micro structure using EDM and ECM treatment using deionized water

3. 전해 가공

3.1 초경합금의 전해 가공

초단 펄스를 이용하여 초경합금(tungsten carbide with cobalt, WC)에 대한 전해 가공을 수행하였다 [4]. 전해 가공을 이용하여 초경합금(텅스텐 카바이드)의 다양한 구조물을 제작하였다. 전해 밀링(electrochemical milling)의 예로서, Fig. 6에 보이는 미세 기둥을 제작하였다. 가공 간극은 1 ~ 2 μm 로서, 미세한 크기의 구조물 제작 및 정밀한 크기 조절에 대한 가능성을 확인할 수 있다.

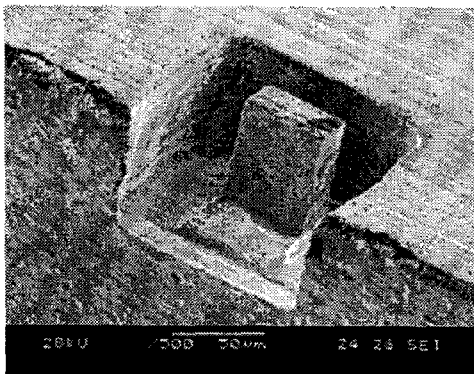
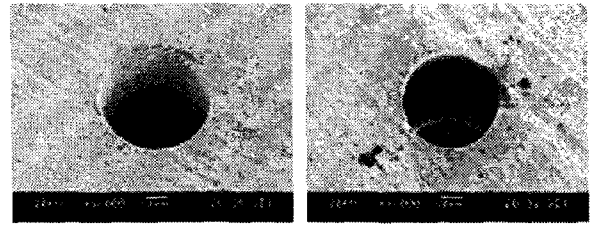


Fig. 6 Micro column (workpiece potential: -0.8 V, pulse amplitude: 4 V, pulse duration: 100 ns, pulse period: 1 μs , feedrate: 1 μm /s, size: 30 x 50 μm , height: 60 μm , machining gap: 1 ~ 2 μm)

Fig. 7 은 전해 드릴링(electrochemical drilling)의 예로서, 두께 200 μm 의 초경합금에 미세 구멍을 가공한 것이다. 진원도가 뛰어나고 모서리의 날카로운 것을 볼 수 있다. 다만 앞면과 뒷면의 직경 차이가 약 6 μm 인 것에서 알 수 있듯, 약간의 테이퍼가 생기는 문제점이 발생하였다.



(a) Hole entrance (b) Hole exit

Fig. 7 Micro hole by MECM (workpiece potential: -0.8 V, pulse amplitude: 6 V, pulse duration: 100 ns, period: 1 μs , depth: 200 μm , feed: 0.1 μm /s, tool: 37 μm , hole entrance: 49 μm , hole exit: 43 μm)

3.2 와이어 펄스 전해 가공

와이어 펄스 전해 가공은 와이어를 공구전극으로 와이어를 이용한다는 점에서 방전 가공과 유사하다. 그러나 미세 와이어 전해 가공에서는 공구전극인 와이어의 마모가 없으므로 지름 10 μm 의 미세 와이어를 이용하여 더욱 정밀한 형상을 가공할 수 있다. 그리고 가공물에 열변형층 및 잔류응력을 발생하지 않으므로 수 마이크로미터의 폭을 갖는 미세형상을 가공할 수 있다. 이러한 전해 가공에서 사용되는 와이어는 전기화학적으로 안정해야 하고 또한 가공 시 발생하는 수소 기포에 의해 변형되지 않는 강도를 가진 텅스텐 와이어가 적합하다.

와이어 펄스 전해 가공에서는 가공 시 단락으로 인한 와이어 변형이 없도록 하고 가공 간극을 최소화하면 미세형상을 가공할 수 다. 또한 가공 시 이온의 공급을 원활하게 하고 기포에 의한 와이어의 변형이 없도록 펄스 조건을 선정하는 것이 중요하다. 이러한 조건을 만족시키는 가공 조건은 와이어의 이송속도가 0.1 μm /s 인 경우 인가 전압 6.5 ~ 7 V, 펄스 주기 6 ~ 8 μs 범위 내에서 펄스 온 타임 60 ~ 150 ns 으로 선정하였다.

Fig. 8 은 선정된 펄스 조건을 바탕으로 가공한 미세 홈의 반복 패턴으로 열변형층과 잔류응력 등이 발생하지 않아 진직도가 매우 잘 유지된 것을 볼 수 있다. 가공된 격벽의 폭은 약 9 μm 이다. Fig. 9 는 외경이 580 μm 인 미세 기어 형상을 가공한 것이다.

4. 결론

미세 금형 가공 또는 미세 형상 가공에 있어서 미세 방전/전해 가공 기술은 많은 가능성을 보이고 있다. 본 논문은 방전/전해 가공 기술을 이용하여 다양한 형상 가공을 하였다. 기존 방전 가공에 이용되는 등유 대신 탈이온수를 이용하면, 가공 표면 품질을 향상시킬 수 있었다. 전해 가공은 전극의 마모가 없다는 점과 미소 영역의 가공이 가능하다는 장점이 있다. 미세 전해 가공을 이용하여 초경합금과 스테인리스 강의 미세 가공을 수행하였다.

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, 1990, Micro electro-discharge machining and its applications, Proc. IEEE Micro Electro Mechanical System Workshop, pp. 21 ~ 26.
- [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] T. Masuzawa, M. Fujino, K. Kobayasi, T. Suzuki, 1985, Wire electro-discharge grinding for micro-machining, Annals of CIRP, Vol. 31, No. 1, pp. 431 ~ 434.
- [4] 최세환, 김보현, 주종남, 2006, 초경합금의 미세 전해 가공, 한국정밀공학회지, 제23권, 제12호, pp. 111~116.

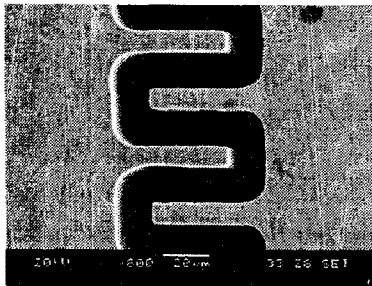
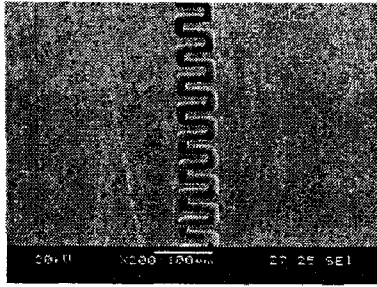


Fig. 8 Micro groove shape on 304 stainless steel, ($\Phi_{work} = 0.4$ VPt, $\Phi_{tool} = 0$ VPt, applied voltage: 6.5 V, pulse period: 7 μ s, pulse on-time: 75 ns, electrolyte: 0.1 M H₂SO₄)



Fig. 9 Micro gear (workpiece: STS 304, $\Phi_{work} = 0.4$ VPt, $\Phi_{tool} = 0$ VPt, applied voltage: 6.5 V, pulse period: 7 μ s, pulse on-time: 75 ns, electrolyte: 0.1 M H₂SO₄)