

미세전기가공 기술

이 글에서는 금속 재료의 미세가공 방법으로서, 기존의 방전가공과 전해가공의 정밀도를 높여 마이크로 미터 크기의 형상을 가공하는 기술을 소개하고자 한다.

마이크로 미터 크기의 미세 형상 가공은 반도체 공정을 이용하여 만드는 것이 비교적 경제적이고 정밀도도 높다. 하지만 기존의 반도체 공정은 소재에 제한이 있으므로 새로운 미세 가공법이 모색되어 왔다. 특히 높은 강도가 요구되는 미세 기계 부품이나 미세 금형가공을 위해 금속의 미세 형상 가공 기술에 대해 많은 연구가 되어 왔다. 일반적으로 금속 가공 기술은 선삭, 밀링 등과 같은 전통적인 절삭 가공과 방전가공, 레이저가공 등의 특수 가공 기술로 나뉠 수 있다. 이러한 기술 중에서, 최근 방전가공과 전해가공의 정밀도를 높여 금속의 미세 3차원 형상 가공에 대한

연구가 활발히 진행되고 있다.

전기적 스파크를 이용한 미세 방전가공

방전가공은 현재 금속의 절단이나 금형 제작에 널리 이용되고 있는 가공 기술이다. 가공 원리는 등유나 물이 들어있는 수조 안에서 전기가 통하는 가공물과 어떠한 형상을 갖는 공구 전극에 전기를 걸어주고 거리를 가깝게 해주면, 두 물체 중에서 거리가 가장 가까운 곳에서 방전이 일어난다. 이 때 발생하는 열로 가공물이 조금씩 녹아 날라가게 된다. 방전가공은 방전으로 발생하는

열 에너지로 가공하는 방법이기 때문에 전기가 통하는 재료는 경도에 무관하게 가공할 수 있다. 금속, 합금, 절연성 세라믹, 소결 다이아몬드, 전도성 실리콘 등 일반 절삭가공으로 가공하기 힘든 재료도 가공할 수 있다. 또한 공구 전극의 형상을 그대로 전사하기 때문에 복잡한 형상도 가공할 수 있는 장점이 있다. 이러한 방전가공은 미세 형상 가공에도 유리하기 때문에 방전 열 에너지를 작게 한 미세방전가공 기술로 발전되었다. 범용 방전가공에서는 일반적으로 트랜지스터를 이용한 방전 회로를 사용하지만 미세방전가공 회로에서는 방전 주파수를 높이기 위해 저항과 콘덴서를

진행되고 있다.

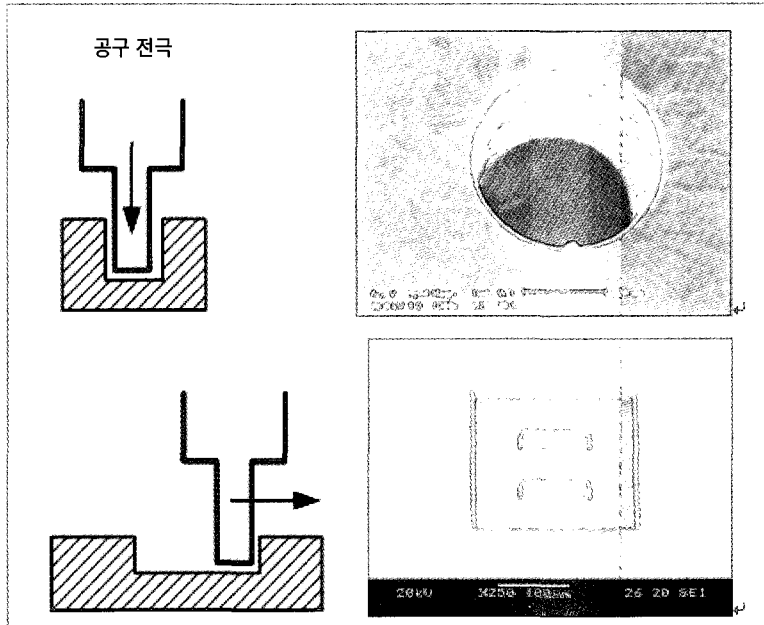


그림 5 미세방전을 이용한 구멍 가공과 밀링 가공

있다. 하지만 깊은 구멍 가공 시 가공 부스러기가 잘 배출되지 않기 때문에 가공 깊이에 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 전원 조건을 바꾸거나 초음파 진동을 인가하여 보다 더 깊은 구멍을 가공하는 등의 기술도 연구되었다. 한편 방전가공은 가공물뿐만 아니라 공구 전극도 방전 열에 의해 녹게 되므로 조금씩 마모가 된다. 따라서 전극 마모는 가공 형상의 정밀도에 직접적으로 영향을 미치며 이 마모량을 줄이는 것은 방전가공에서 해결해야 할 제일 큰 과제 중의 하나이다.

화학 반응을 이용한 전해 가공

전해가공은 방전가공과 마찬가지로 공구 전극과 가공물에 전기를 걸어 가공하는 방법이지만, 방전가공과 달리 전해액 속에서 가공물의 이온 용출을 이용하는 가공 방법이다. 일반적으로 전해 가공은 난삭재 가공이나 표면의 다듬질 공정으로 많이 사용되며 방전가공보다 속도가 빠르지만 방전가공처럼 가공물과 공구 전극의 간극을 균일하고 작게 유지하는 것이 힘들기 때문에 미세 가공에는 적합하지 않았다. 하지만 최근 독일의 Schuster 교수팀에 의해 펄스 폭이 수 십 나노 초 (nano-second) 정도의 초단 펄스를 전원으로 사용하여 간극을 수 마이크로 미터로 떨어뜨릴 수 있는 기술이 개발되어 전 세계적으로 관련된 연구가 활발히

초단 펄스를 이용한 전해가공의 원리

전해액 속에 전극을 담그면 전극의 표면에서 이온의 분포로 인한 전기 이중층이 생기는데 이는 콘덴서와 같은 기능을 한다. 이때 펄스 폭이 매우 작은 전압 펄스를 인가하면, 전극과 가공물 사이의 용액 저항이 가장 작은 곳에서부터 전기 이중층이 충전이 되고 용액 저항이 큰 곳에서는 천천히 충전이 된다. 전극과 가공물 사이의 거리가 가장 가까운 곳에서는 용액 저항이 가장 작기 때문에 먼저 충전이 이루어지고 이로 인해 가공물에서 화학반응이 일어나게 된다. 하지만 거리가 먼 곳에서는 충전이 충분히 이루어지기 전에 펄스가 끊어지도록 하면 화학반응을 억제할 수 있다. 따라서 펄스 폭을 조절하면 가공물과 가까운 공구 전극의 끝에서만 가공이 일어나게 할 수 있다.

전해가공을 이용한 미세 형상 가공

미세전해가공에서도 방전가공과 마찬가지로 공구 전극을 이송하면서 구멍이나 형상을 가공하게 된다. 마이크로 미터 단위의 전극은 와이어방전연삭으로 제작하며 그보다 작은 전극은 전해 에칭을 이용하여 제작한다. 또한 미세 금속 와이어를 공구 전극으로 사용할 수도 있다. 공구 전극은 전류를 가공 영역에 집중시키

기 위해 절연 코팅을 하는 것이 유리하며 화학적으로 비교적 안정한 백금, 텅스텐, 텅스텐 카바이드를 사용한다. 공구 전극의 크기가 수 마이크로 미터 이하로 작아지면, 전해가공 중 발생하는 기포 등으로 인해 전극이 흔들리는 경우도 발생하기 때문에 공구 전극의 강성도 고려해야 한다. 전해 가공은 전극의 마모가 없기 때문에 그로 인한 가공 형상의 오차가 없다. 즉 일반 드릴이나 밀링 공구와 마찬가지로 전극이 이송하는 경로를 따라 재료가 가공된다. 전해 가공은 펄스 폭이나 펄스 전압 그리고 전해액의 농도에 따라 가공 간극이 달라지게 된다. 펄스 폭과 전압이 작을수록 농도가 낮을수록 간극이 작아지게 되는데, 일반적으로 0.1M 황산 용액에서 스테인리스 강을 가공할 때 5~6V, 50~100ns 의 펄스를 사용하면 5~10 μ m의 간극을 얻게 된다.

방전가공과 비교할 때 전해 가공은 여러가지 매력적인 장점을 지니고 있다. 방전가공에서는 가공 정밀도가 마이크로 미터 단위인 것에 반해, 초단 펄스를 이용한 전해가공은 가공 정밀도를 나노미터 단위로 떨어뜨릴 수 있어 나노 형상의 가공 기술로 이용될 수 있으며 전기화학적가공이므로 방전가공에서 나타나는 열변형층이 없고 표면 품질이 뛰어나다. 또한 방전가공에서 큰 문제점으로 여기던 공구 전극의 마모가 없기 때문에 정밀한 형상가공을

할 수 있어 한번 제작한 공구 전극을 계속 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 금속의 종류와 전해질의 종류에 따라 그 화학 반응이 각기 다르기 때문에 각각의 금속마다 적절한 전해액을 사용해야 하고 가공 속도가 아직 미세방전가공보다 느린 단

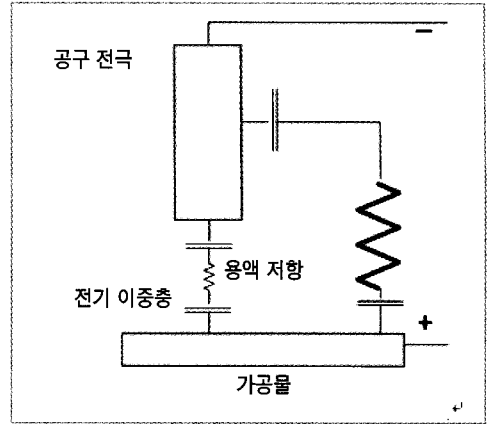


그림 6 초단 펄스를 이용한 전해 가공 원리 : 거리가 가깝고 용액 저항이 작은 곳의 전기 이중층이 먼저 충전된다.

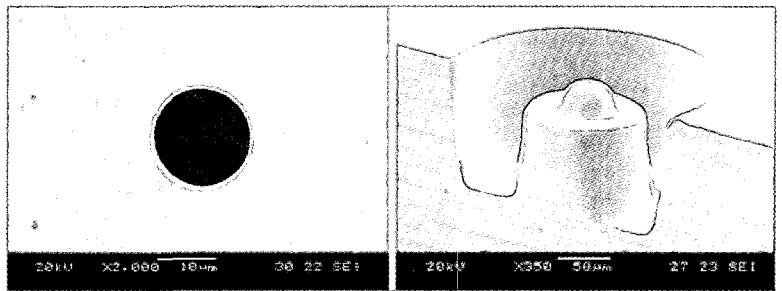


그림 7 미세전해가공의 예(재질 : 스테인리스 강)

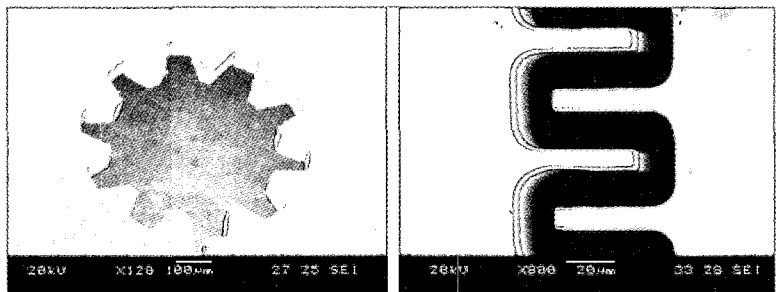


그림 8 와이어 공구를 이용한 전해가공의 예(재질 : 스테인리스 강)

점이 있다. 이러한 문제점이 해결된다면 금속의 미세가공분야에서 마이크로 영역에서 방전가공이 사용되었듯이 나노 영역에서는

전해 가공이 주목 받을 수 있을 것이다.