韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.906~909 KSPE 00F204

점 전극을 이용한 미세전해가공 기구의 고찰

이승훈* (울산대 대학원 기계공학과), 박규열** (울산대 기계공학과)

A study on the mechanism of the Electrochemical micromachining using point electrode method

SeungHun Lee*(Mechanical Eng. Dept., Graduate school , UOU), KyuYeol Park**, (Mechanical Eng. Dept., UOU)

ABSTRACT

To improve dimension accuracy and make very small parts are one of the major purpose on the electrochemical micromachining. This paper introduce a small machine tool by using the point electrode. That has a data acquisition system for gathering applied electric condition between the gap. Point electrode on this system was made by this method as well.

It was found that variable phenomena occurred through the acquired V-I curve on the process.

Key Words : Electrochemical micromachining (미세전해가공), Point electrode method (점전극), Electrolyte (전해액), Spray method (분무법)

1. 서론

전해가공은 금속의 도금, 석판인쇄기술로부터 이어져온 전기화학가공법으로, 전기가공법인 방전가공과 함께 기계산업 전반에 걸쳐 큰 기여를 하였다. 초기의 전해가공과 방전가공은 종래의 가공으로는 어려운 난삭재 혹은 내열재료 등을 가공함에 있어 효율적으로 이용되었다.

최근 들어, 미세방전가공에 의한 마이크로 부품의 제작이 가능해지면서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 실용화의 예로 잉크젯 프린터의 분사노즐구멍가공 등을 미세화를 통해 인쇄품질의 향상을 가져왔다.

그러나 전해가공은 가공 후 표면의 결함이 없고, 표면을 매끄럽게 가공할 수 있음에도 불구하고, 부품의 치수가 작아지면서 형상정밀도의 저하라는 문제에 있어 원하는 형상의 미세부품가공에 적용하기에 어려움이 있었다.

최근 SPM(Scanning Probe Microscope)의 한 종류인 ECSPM(ElectroChemical SPM)을 이용한 전기화학적 분석이 꾸준히 진행되고 있으며, 독일의 Rolf Schuster 는 이것을 이용해 Au 표면에 수 나노미터 정도의 홈을 파거나 표면에 Cu 를 부분적으로 도금한 것을 STM 으로 확인함으로써 미세전해가공의 가능성을 제시하였다. Fig. 1 은 Rolf Schuster 가 실험한 후 이 결과를 확인한 ECSPM 의 개략도이다.[1)]

또한, Cu 판에 Pt 전극을 이용하여 0.01M $HClO_4$ 와 0.1M $CuSO_4$ 액 중에서 극단시간만 펄스를 공급함으로써 형상정도의 저하없이 서브미크론단위의 공작물을 가공한 예도 보고되고 있다.[2)]

따라서, 본 논문에서는 이러한 미세전해가공을

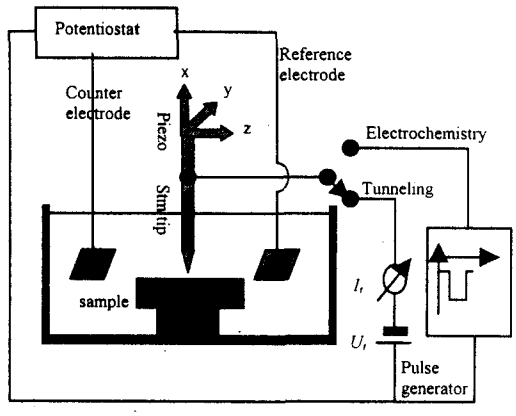

Fig. 1 Electrochemical STM(ECSTM) for Ultrafast electrochemistry [1)]

수행하기 위한 가공기를 제작하고, 적절한 미세전해조건의 선정을 위한 극간의 전류와 전압의 변화를 관찰하며, 또한 단일금속이 아닌 합금의 경우에도 향후 최적의 가공조건을 도출하기 위한 도구로 활용할 수도 있을 것이다.

2. 전해가공의 기구

전해가공은 전기화학분야에서의 응용으로 두 전극(공구:음극, 공작물:양극)을 전해액 속에 침지시킨 후 전기를 흘리면 간극사이에서의 화학반응에 의해 양극부식을 일으키는 방법이다. 이러한 전기화학반응에서는 수소 이온이 물 속에서 환원하여 수소로 될 때의 전위를 0.00V 로 하여 기준으로 삼고, 이에 대한 어떤 금속 이온이 환원하는 반응에서 나타나는 전위를 표준환원전위라 하며, 각 금속마다 고유한 전위가 존재한다.

이러한 표준환원전위를 구하기 위해서는 카로멜전극, 염화은전극 등 여러 종류의 기준전극을 써서 양극과 전해액 중에서의 전위차를 측정하며, 전극마다 각각 다른 전위를 가진다.

그리고, 이러한 표준환원전위는 단일금속에서는 대부분이 구해져 있으며, 계산상으로도 가공량을 예측 가능하지만 금속이 합금으로 존재할 경우, 문제는 매우 복잡하게 되며, 이러한 경우에 분극곡선을 측정하고 실제의 가공에 적용했을 때와의 가공성을 비교하게 된다.[5)]

일반적으로 공구전극으로는 분극의 영향이 작은 Pt 와 같은 귀금속이 주로 쓰인다.

용액에서의 화학성분의 이동현상으로 가장 먼저 떠오르는 것이 농도구배(엄밀히 말하면 화학포텐샬구배)에 의한 확산이다. 여기서, 이온처럼 전하를 가진 입자의 이동현상에서의 구동력으로 전기화학포텐샬의 구배를 고려해야 하며, 이온의 경우에는 농도구배에 의한 확산 외에도 계 내부의 전위구배에 의해서도 이동현상이 생기게 된다.

용액 내에 존재하는 모든 이온의 전기화학적 이동을 근거로 한 전체전류밀도 j 는 이온 i 에 의한 부분전류밀도 j_i 의 총합으로 나타나고 부분전류밀도가 모두 시간에 무관할 경우에 정상전류가 흐른다고 한다. 내부전위의 구배가 없고 화학포텐샬구배만 있는 경우에는 이온 i 는 확산이 일어난다. 만약, 반대로 전위구배만 있는 경우의 이온 이동을 전기적 영동(electric migration)이라고 한다.

이러한 이온 i 의 전기영동에 의한 부분전류밀도와 전체 전류밀도의 비를 그 용액의 수율(transport number)이라고 하며, 전하수의 절대치 및 이동도가 클수록, 농도가 높을수록 증가한다. 또, 이온의 수율은 각 이온의 고유한 것이 아니라, 용액중에 공존하는 다른 이온의 종류와 농도에 의해 변화하는 상대적인 양이기 때문에 적당한 조건을 선택하면 특정 이온의 수율을 근사적으로 0 에 가깝게도 할 수 있게 된다.

이러한 전기화학적인 현상을 기초로 전기적 조건을 선택함으로서 단일 금속뿐만 아니라 합금의 전해가공도 최적의 조건을 쉽게 구할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 미세전해가공기의 개요 및 실험

3.1 전해가공기의 제작

일반적으로 전해가공은 전해액 중에서 가공이 진행되는데 반해 본 가공기는 전해액을 외부에서 가공부위로 흘려주는 방식을 취한다. 이는 전해액의 소모가 적을 뿐만 아니라 가공이 진행되는 부분을 현미경을 통해 직접 관찰할 수 있다라고 하는 장점을 지니고 있다. Fig. 2, 3 은 미세전해가공을 위한 기초실험장치의 개략도와 사진이다.

본 장치는 회전정밀도를 고려한 주축부와 주축의 수직 방향에 설치된 3 축 이송부, 전해액을 분류 혹은 분무할 수 있는 정온· 정량 토출장치, 가공중의 전기량을 실시간으로 모니터링하고, 취득할 수 있는 데이터 취득장치 등 크게 네 부분으로 나눌 수 있다.

주축부는 간단하면서도 높은 회전정밀도를 갖는 V 블록과 직경 Φ 15mm 코렛척을 사용하였으며, 주축의 회전은 모터의 진동을 고려해서 고무링을 이용하여 모터와 주축을 분리하였다.

전해가공에서는 전해액의 조건에 따라 가공성능의 차이가 있으므로 가공액 공급장치는 일정량의 전해액을 등온으로 공급하는 장치(Musashi Eng. INC., MS-10D)를 이용함으로써 가공조건의 균일화

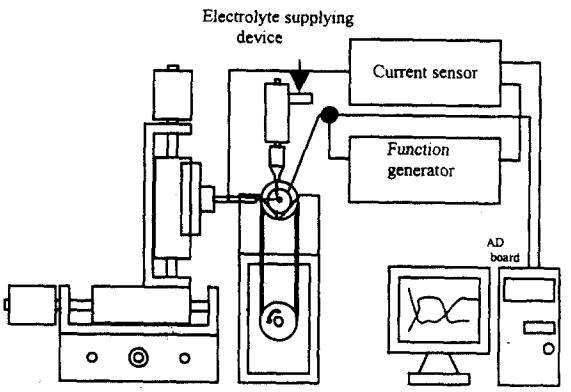

Fig. 2 Schematic view of machine tool

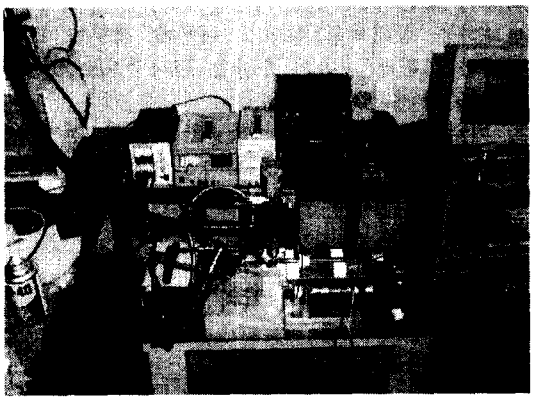

Fig. 3 Photograph of experimental setup

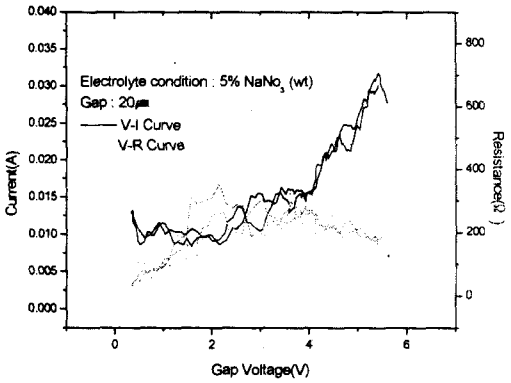

Fig. 4 Sample wave form of current, resistance under continuous voltage

를 도모했다. 점 전극을 이용해서 가공을 하기 때문에 극간에 흐르는 전류는 보통 20 ~ 100 ㎃범위이므로 대전류장치가 필요없다. 공급전원으로는 함수발생기(Hung chang Prod. Co. LTD, G305)를 통해 극간에 전기를 공급하고 전기량의 검출에는 AD 보드(Data Translation, DT-2835)로 전압과 전류를 검출하였다.

3.2 실험방법

공구는 전해가공에 의해 직접 제작된 Φ 100 ㎛의 봉에 끝단면의 형상이 뾰족한 형태의 점 전극이다.

공구와 공작물의 재질은 모두 스테인레스와이어(Φ 100 ㎛)이고, 전해액은 $NaNO_3$ 전해액을 사용하였다. 가공전원의 종류는 직류전원과 직류펄스전원을 이용하였으며, 극간의 전압-전류곡선의 측정을 위해서 함수발생기의 삼각파를 이용하여 점진적으로 증가시켰으며, 전해액 공급장치는 공구의 궤적과 동일하게 유지하기위해 공구 테이블측에 부착하였으며, 가공부위에 직접 분류 혹은 분사를 하였다. 또한, 가공 중에 실체현미경으로 관찰하였다.

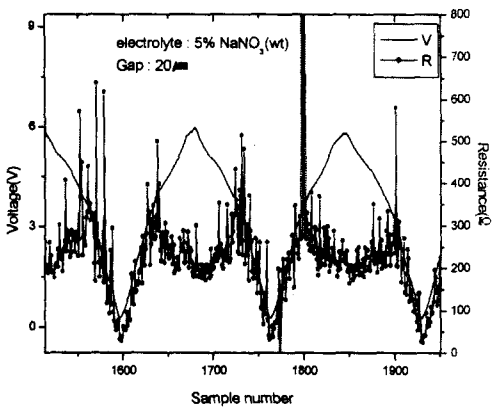

Fig. 5 Sample wave form of voltage, resistance under continuous sample number

3.3 실험결과

초기의 황가공에서는 과도한 전기조건과 공작물의 편심으로 인해 형상정밀도가 저하되기 때문에 극간간극을 좁히고 전해액의 전기적 조건을 높여 분사시킴으로써 형상정밀도의 저하를 방지하면서 가공량을 늘일 수 있었다. 그러나, 스테인레스의 경우 약 Φ 50 ㎛이하에서 공작물 끝쪽으로부터 편심이 생겨 종종 부러지는 경우가 있었다.

이러한 분무의 대체방법으로 펄스전원을 사용하는 것이 형상정밀도를 향상시키는데 유효할 것으로 보이며, 실제로 표면 조도 또한 향상되는 것으로

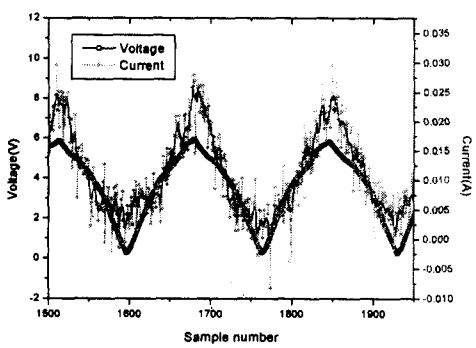

Fig. 6 Sample wave form of current under continuous sample number

보고되고 있다.

Fig. 4 는 전류전압곡선을 측정하기 위해 간극 20 ㎛에서 전압을 0~10V 로 0.1 초 동안 상승에서 하강을 1 회 실시한 후 전압에 대한 전류와 저항 값의 변화를 나타낸 것이다. 그래프의 선이 두개로 나타나는 이유는 전압을 상승할 때의 값과 하강할 때의 두 값이 존재하기 때문이며, Fig. 5 는 샘플링 순서에 따른 전압과 저항의 차이를 나타낸다. 여기서, 주의 깊게 봐야 할 부분이 3V 부근부터 전압이 올라갈수록 저항이 작아짐을 알 수가 있다. 이 지점부터 +극에 수소기포가 발생한다. 실제로 전기화학에서도 전압의 상승에 따라 전류가 미약하게 흐르다가 급격히 상승하는 구간이 존재하며, 이를 방전전위라고 부른다. 일반 전해가공과는 달리 미세전해가공을 하기 위해서는 가공량을 최소화시키는 조건을 산출할 필요가 있고, 이는 방전전위 근처에서 존재할 것으로 보인다.

전해액의 공급에 있어서는 액을 빨리 공급할수록, 회전을 빨리 할수록, 전해액 온도가 높을수록 전류밀도가 상승하는 경향이 있었다. 이것은 같은 전해액농도에서 높은 전류밀도를 얻을 수 있으며, 가공후 표면과도 연관이 있다.

4. 결론

미세전해가공을 위한 가공기를 설계, 제작하였고, 이 가공기로 점 전극을 제작하였고, 점 전극을 이용하여 미세전해가공기의 성능을 시험하였다. 또한 극간의 전기량을 검출함으로써 간극에서의 전기적 조건의 변화를 확인하였고, 이는 가공중에 전기적 조건을 확인할 수 있어 공급되는 전원의 균일화를 판단할 수 있었다. 점 전극을 이용한 가공에서 흐르는 전류가 미약하기 때문에 대전류의 전원장치보다는 안정적인 전원을 공급하는 장치가 요구된다.

전해액의 공급에 있어 액을 흘려주는 것보다 분무하는 쪽이 가공량은 적은 반면 형상정밀도에 유리하고, 전해액의 공급을 빨리하면 전류치가 증가하였다.

위와 같은 실험을 통해 미세전해가공 특성을 파악하였으며. 양극과 기준전극사이의 표준환원전압을 측정함으로서 좀더 전기화학적인 접근을 할 필요가 있을 것으로 본다.

후 기

본 연구는 과학기술부지원 국제공동연구(98-I-01-04-A-001)의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Rolf Schuster, "Nanoscale Electrochemistry - a tool for forming structures of almost atomic dimensions," Phys. Rev. Lett, 80, 5599 , 1998.
2. R. Schuster, V. Kirchner, P. Allongue, G. Ertl, "Electrochemical Micromachining," Science, Vol 289, pp. 98 – 101, 2000.
3. 電氣化學, 東京化學同人, 1991.
4. A. K. M. De Silva, J. A. McGeough, "rocPess monitoring of electrochemical micromachining," J of Material Processing Technology, Vol 76, pp. 165-169, 1998.
5. 佐藤敎男, "金屬の 不動態化と 表面不動態皮膜", 電氣化學, Vol. 46, No 11, pp. 584-591, 1978.