

미세방전가공 중 발생하는 debris 를 고려한 가공특성 연구

국경훈*, 이희원, 민병권, 이상조 (연세대학교 기계공학부)

Influence of Debris in Micro Electrical Discharge Machining Processes

K. H. Kook*, H. W. Lee, B. K. Min, S. J. Lee (School of Mechanical Eng., Yonsei Univ.)

ABSTRACT

The material removal mechanism of Electrical Discharge Machining (EDM) process has been studied for several decades. However, understanding of the material removal mechanism is still a difficult problem because the mechanism involves complicated physical phenomena including plasma. Especially, for a micro-EDM process, due to the influence of the debris that is generated during the machining process, quantitative modeling of EDM becomes more complex. To understand better the effects of the debris in the micro-EDM process experimentally, a new approach has been introduced in this study. Using a specially designed workpiece holder, the debris generated during the EDM with various process conditions has been collected. Then, using a simulated environment using micro-sized metal powders, the influence of the debris during the single EDM discharge has been observed. The effects of EDM process parameters on the debris size and product quality are discussed.

Key Words : Electrical Discharge Machining (EDM, 방전가공), micro hole machining (마이크로 구멍 가공), Single-pulse discharge (단발 방전)

1. 서론

마이크로 구멍가공(micro hole machining) 은 현재 금형을 비롯하여, 섬유 노즐, 연료 분사 노즐, 광학 기기 부품, 잉크젯 프린터 노즐, 그리고 광통신 관련 제품 등 여러 분야에 걸쳐 적용되고 있다. 방전가공(Electrical Discharge Machining; EDM) 에 의한 미세 구멍가공은 내열, 내마모성이 높거나 절삭가공이 어려운 항공기 부품 등의 피삭재에 사용되고 있다. 방전 가공은 공구와 공작물 사이에서 절연 파괴에 의해 발생하는 플라즈마를 이용한 가공법이다. 따라서, 공구와 공작물의 직접적인 접촉은 없지만 구멍 가공의 경우에 방전 간극 영향으로 인하여 실제 공구 직경보다 더 큰 구멍이 가공된다. 또한 실제 가공 중에 방전 가공물의 부산물인 미세 금속 입자형태의 debris 에 의해 방전 간극에서 2 차 방전이 발생하게 되고 이로 인해 가공 표면의 상태가 악화되며 간극이 더욱 커지는 현상이 발생하게 된다. 가공하려는 구멍의 직경이 작아질수록, 가공하려는 형상이 복잡해질수록 debris 에

의한 영향 자체가 하나의 큰 고려대상이 되고 있다.

이와 같은 현상을 방지하고 정밀도를 향상시키기 위해 본 연구에서는 방전 가공 중에 발생하는 debris가 방전가공에 미치는 영향을 파악함으로써, 가공물의 치수 정밀도를 향상 시키고, 가공 시간을 최소화 시키는 방법에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 인위적으로 debris가 존재하는 환경을 재현하기 위해서 실제 방전가공에서 발생된 debris를 수집, 형태와 크기를 광학 현미경으로 측정했으며 또한 화학적으로도 같은 조성의 금속분말을 사용하였다. 가공 중 방전액에 포함된 분말의 농도 유지를 목적으로 초음파 혼합 장치를 개발, 분말 공급장치를 새로 구성하였다.^{1,2}

Debris 의 특성 파악을 위한 기초 실험으로서 단발 방전(single pulse discharge) 실험을 통해 debris에 의한 가공 특성을 가공조건에 따라 비교 분석함으로써 debris 의 형상 및 크기에 따른 경향성을 파악하였으며 이를 통하여 방전가공의 실험 변수인 전류 및 전압에 따라 발생하는 debris 의 평균

입자 크기의 변화를 측정하였다. 인위적으로 입자의 크기가 다른 분말을 공급한 후 단발방전 실험을 수행하여 입자의 크기에 따른 가공상의 효율 차이를 검토하였다. 이와 같은 연구를 통하여 debris 를 소형화 시킬 수 있는 조건을 얻었으며, 가공된 마이크로 구멍의 직경과 깊이 변화를 통하여 debris 의 소형화에 따른 가공 성능이 향상된 것을 확인하였다.

2. 실험 조건 및 구성

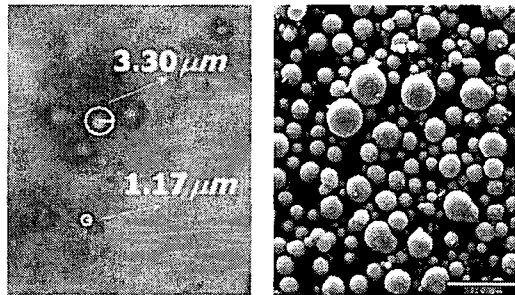
본 절에서는 debris 가 존재하는 상황을 인위적으로 재현하기 위해서 필요한 실험의 구성에 대해서 소개한다.

2.1.1 시편, debris 및 분말

실험에 사용된 시편은 탄소가 0.02% 이하 포함된 순철(pure iron)을 사용하였다. 이는 방전 가공 중에 나오는 debris 의 화학 조성을 단순화 시켜서 실험 결과의 신뢰성을 높이고 debris 와 화학적으로 같은 조성의 분말을 구하기 용이하게 하기 위함이다.

실제 가공에서 발생하는 debris 를 수집하는 방법으로 방전액을 담을 수 있는 용기를 제작, 막대 자석을 이용하여 수집하였다. Fig. 1 (a)는 수집된 debris 를 광학 현미경을 통해서 관찰하여 debris 사이즈를 측정하는 것이다.

분말은 수집된 debris 와 형상이 구형(ball shape)으로 같고, 화학조성이 같은 분말을 선택하였다. Fig. 1 (b)는 선택한 분말의 전자현미경 사진이다.



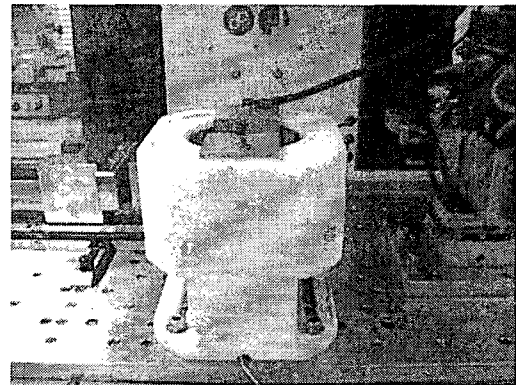
(a) Debris (b) Powder
Fig. 1 Observation of debris and powder

2.1.2 초음파 혼합장치

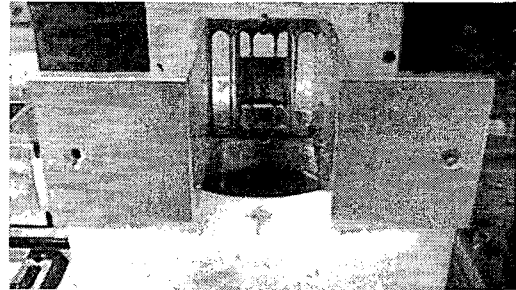
Debris 가 존재하는 상황을 인위적으로 재현해주는 부분에서 가장 관건이 되었던 부분이 방전액으로 사용하는 케로신과 분말의 혼합용액 농도를 일정하게 유지하는 것이었다. 펌프를 이용하여 혼합용액을 공급할 경우 분말의 비중에 의해서 분말

이 침전되는 현상이 발생하고 이로 인하여 가공 중에 발생한 debris 농도와 동일한 농도를 만들어 줄 수 없었다.

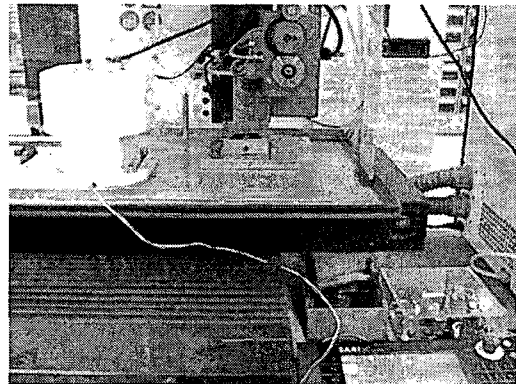
따라서, 초음파 발생기를 이용하여 분말과 방전유의 일정한 혼합농도를 유지시킬 수 있는 혼합장치를 제작하였다. Fig. 2 는 제작된 초음파 혼합장치로, 초음파를 이용하여 혼합용액의 농도를 일정하게 유지시켜 주게 된다. 혼합용액 안에서 방전가공이 가능하도록 용기 내부에 시편 fixture 를 부착하였으며, 방전 가공기의 작업공간에 장착되도록 하였다.



(a) Frame



(b) Fixture of workpiece



(c) Installed figure in EDM

Fig. 2 Ultrasonic mixing device

2.1.3 방전유(Dielectric fluid)

초음파 혼합을 용이하게 하기 위해서 본 연구에서는 비교적 점도가 낮은 케로신의 일종인 SK-ISOL H를 방전액으로 했다. 사용된 방전액의 점도는 1.63 25°C CST 이다.

2.1.4 전극

전하가 모서리에 집중되는 현상을 이용하여 단발 방전이 효율적으로 일어나게 하기 위해서 텅스텐 전극의 끝단을 Fig. 3 에서와 같이 에칭을 통해 뾰족하게 만들어주었다.

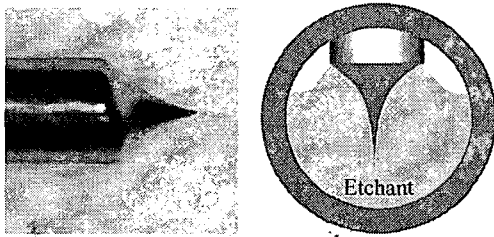


Fig. 3 Etched electrode

2.2 실험 구성

Table 1 은 방전 실험의 가공 변수의 설정 값을 보여주고 있다. Fig. 4 는 실험의 전체적인 구성을 보여주는 개략도로 디지털 오실로스코프를 통해서 방전가공 중에 전압, 전류를 측정, 데이터를 수집하고 방전가공기(SARIX)를 통해 가공시간과, 전극 마모량을 측정, 가공된 깊이를 계산하게 된다.

Table 1 EDM parameters

Parameter	Value
Pulse Width (μ s)	4
Pulse Frequency (kHz)	150
Voltage (V)	50 to 150
Current (A)	70

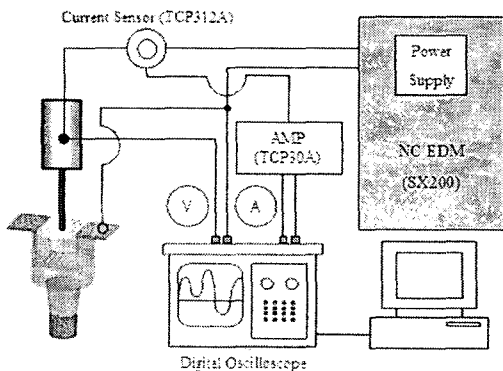


Fig. 4 Schematic of experiment setup

3. 실험 결과 및 분석

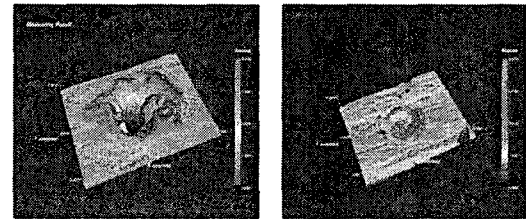
Debris 가 방전 가공에 미치는 영향을 직접적으로 관찰하기 위해 2 절에서 제시한 조건으로 실험을 구성하여 단발 방전 실험을 하였다.

Figs. 5 (a), (b)는 단발 방전된 형상을 광학현미경으로 찍은 사진으로 debris 역할을 하는 분말의 공급 유무에 따른 방전 형상의 차이를 보여주고 있다. Figs. 5 (c), (d)는 형상 및 깊이를 비접촉 3차원 미세형상측정기 (NV-C1000, Nanosystems)를 이용하여 측정한 것으로 분말 즉 debris 가 존재하는 환경에서는 가공 깊이 효율이 떨어짐을 알 수 있다.



(a) without powder

(b) with powder



(c) without powder

(d) with powder

Fig. 5 Results of single-pulse discharge

Fig. 6 은 전압에 따른 가공 상의 성능을 알아보기 위해서 50~150 볼트까지 전압을 변화시키면서, 가공된 구멍의 직경을 측정함으로써 전압이 커짐에 따라 직경이 커짐을 알 수 있다.

Fig. 7 은 전압의 변화에 따른 단위 깊이 당 가공시간을 나타낸 것으로, 전압이 높아짐에 따라 방전에너지의 증가로 인하여 가공시간이 감소하다가 100 볼트 이상에서는 오히려 가공시간이 증가하는 것을 알 수 있었다.

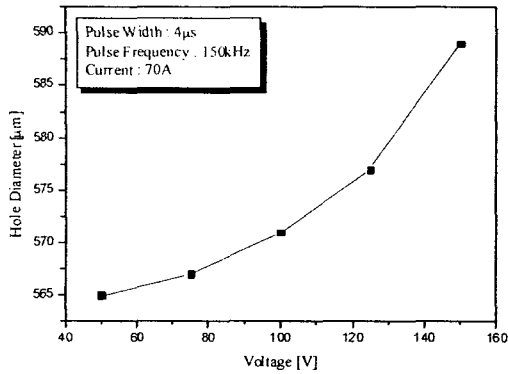


Fig. 6 Hole Diameter according to voltage

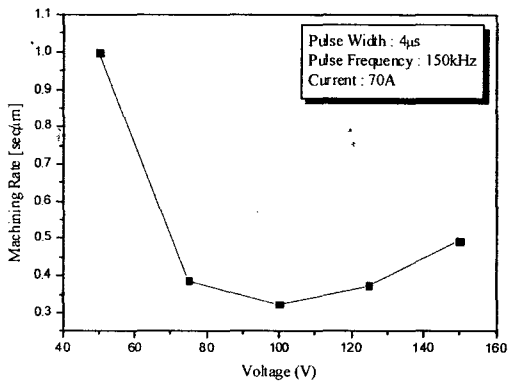


Fig. 7 Machining Rate according to voltage

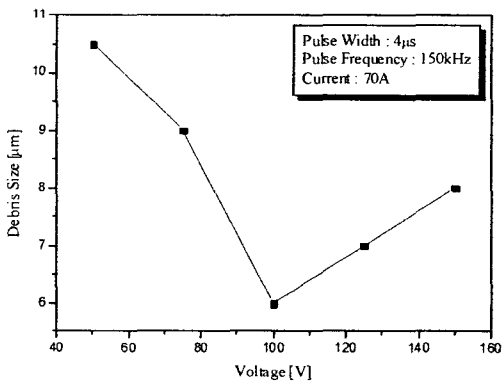


Fig. 8 Debris size according to voltage

Fig. 8 은 전압 변화에 따른 debris 의 크기를 보여 주는 것으로, 100 볼트일 경우 debris 직경이 가장 작은 것을 알 수 있다.

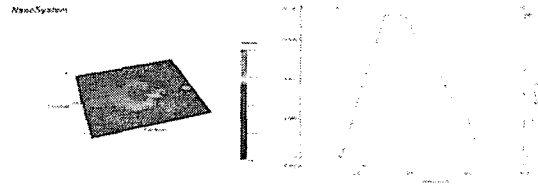


Fig. 9 Result of single-pulse discharge

Fig. 9 는 150 볼트에서 얻은 debris 와 크기가 같은 분말을 공급, 단발 방전 실험을 한 것으로, 가공이 되기 보다는 분말이 증착됨을 보여준다.

4. 결론

1. 방전 전압이 증가함에 따라 가공 시간이 감소되는 경향이 있으나, 100 볼트 이상에서는 가공 시간이 증가하였다.
2. 가공 시간이 증가하는 부분인 150 볼트에서의 debris 크기를 측정된 결과, 가공시간이 짧은 100 볼트와 비교해 평균 크기가 3-4 μm 크다는 것을 확인하였다.
3. 150 볼트에서의 debris 이용, 단발 방전 실험한 결과, 가공 보다는 오히려 증착이 이루어진다는 것을 확인하였다.
4. 가공시간이 지연되는 요인의 하나가 debris 의 재증착에 있다는 것을 발견하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 산업 기술 기반 조성 사업인 마이크로 나노 점선 가공기반 구축 사업의 결과물입니다.

참고문헌

1. Han-Ming, C., Biinh-Hwa, "Study of added powder in kerosene for the micro-slit machining of titanium alloy using electro-discharge machining," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 101, pp 95 ? 103, 1998.
2. Soni, J. S., Chakraverti, G, "Experimental investigation on migration of material during EDM of die steel(T215 Cr12)," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 56, pp 439 ? 451, 1996.