

미세 와이어 방전가공 용 무전해 전원회로 개발 Development of anti corrosion power source for micro wire EDM

*#정도관¹, 신흥식¹, 박민수², 김보현³, 주종남¹

*#D. K. Chung(dogani04@snu.ac.kr)¹, H. S. Shin¹, M. S. Park², B. H. Kim³, C. N. Chu¹
¹서울대학교 기계항공공학부, ²서울산업대학교 제품설계금형공학과, ³숭실대학교 기계공학과

Key words : Micro wire EDM, Anti corrosion power source

1. 서론

미세 전극 (Micro tool electrode) 등의 제작에 사용되는 미세 와이어 방전가공 (Micro wire EDM)은 일반적으로 케로신을 절연액으로 사용한다. 절연액으로 탈이온수를 사용하면 가공속도가 빠르지만 전해부식 (Electrolytic corrosion)이 발생하여 가공품질이 저하된다. 일반적으로 미세 방전가공에서는 가공물에 (+)극을 연결하는 정극성을 사용하고 있다. 가공단에 공급된 높은 전압이 가공물에 전해용출을 일으킨다. 특히, 미세 전극으로 초경합금이 많이 사용되는데 이는 전해부식에 매우 취약하다. 탈이온수를 사용하는 상용 와이어 방전가공 (Wire EDM)에서는 가공물에 발생하는 전해부식을 억제하기 위하여 최근에 무전해 전원회로 (anti corrosion power source)로 알려진 사각파 또는 정현파 형태의 교류전원 (AC power source)를 방전전원장치로 사용한다.^{1, 2} 교류전원은 주기적으로 전압의 극성을 바꿔주어 가공간극에 형성되는 평균전압은 0 V가 된다. 일반적으로 정상 가공 시에는 방전에너지를 줄이기 위해 스위칭 주파수를 높여 고주파 교류전원을 사용한다. Fig. 1은 정현파 형태의 교류전압을 나타낸다. 미세 와이어 방전가공에서도 방전에너지를 작게 하고, 전해부식을 억제하기 위하여 고주파 교류전원을 방전전원으로 이용할 수 있다. 본 연구에서 전해부식 억제를 위한 미세 와이어 방전가공 용 고주파 교류전원을 개발하였다.

2. 고주파 교류전원

본 연구에서는 class E power amplifier를 이용하여 고주파 교류전압을 발생시켰다. Class E power amplifier는 single ended RF power amplifier 또는 resonant inverter로도 불린다. Class E power amplifier는 1975년 Sokal에 의해 처음으로 개발되었고³, single switch로 동작하고 효율이 높아 induction heating⁴, plasma RF power supply⁵ 등 다양한 응용 분야에 널리 이용된다.

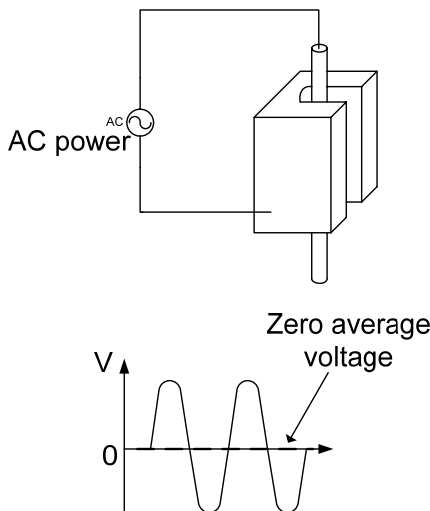


Fig. 1 AC power source for wire EDM

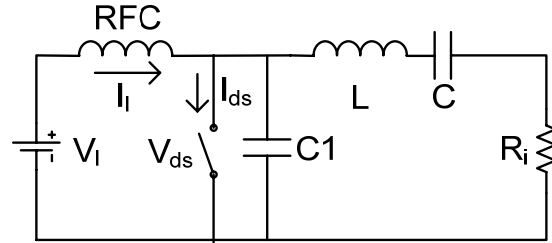


Fig. 2 Circuit diagram of class E power amplifier

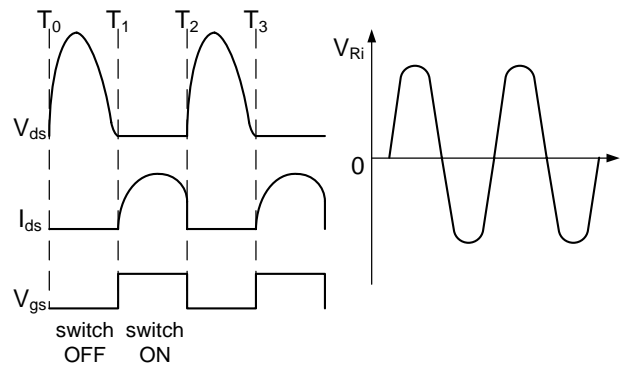


Fig. 3 Voltage and current waveforms

Fig. 2는 class E power amplifier의 회로도를 나타낸다. 스위치 양단에 shunt capacitor (C1)이 연결되고, 직렬연결된 LC를 거쳐 load R_i 로 연결된다. RFC는 전원으로 RF signal이 전달되는 것을 막기 위한 인덕터이다. Fig. 3은 전압, 전류 파형을 나타낸다. 스위치가 OFF되면, 스위치 전압 (V_{ds})이 상승하며, 이때 스위치 전류 (I_{ds})는 흐르지 않는다. 스위치가 ON되면, 스위치 전압은 떨어지며, 스위치 전류가 상승한다. 최종적으로 Load R_i 에는 정현파의 전압 및 전류가 형성된다. 듀티비가 50%일 때, 스위치 전압의 최대값은 입력 전압 (V_i)의 3.56 배, 스위치 전류의 최대값은 입력전류 (I_i)의 2.86 배까지 상승한다.⁶ 회로소자값은 듀티비 50%일 때, 다음과 같은 관계식을 갖는다.⁶

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{\pi(\pi^2 + 4)R_i}{8} \approx 5.4466R_i$$

$$X_L = \omega L = Q_L R_i$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \left[Q_L - \frac{\pi(\pi^2 - 4)}{16} \right] R_i \approx (Q_L - 1.1525)R_i$$

ω 는 스위칭 주파수를 나타낸다. Q_L 은 정현파를 만들기 위해 높은 값을 가져야 한다.⁶

본 연구에서는 13.56 MHz를 스위칭 주파수로 선정하였다. 13.56 MHz는 통신 외의 목적으로 사용 가능한 ISM (industrial, scientific and medical) 주파수로 반도체 장비의 전원장치 주파수로 널리 사용되고 있다.⁷



Fig. 4 Developed 13.56 MHz class E power amplifier circuit

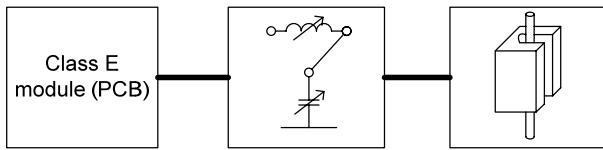


Fig. 5 Schematic diagram of experimental configurations for micro wire EDM

Fig. 4는 제작된 고주파 교류발생기를 나타낸다. 고주파 동작을 위해 RF power MOSFET을 사용하였고, MOSFET과 driver 등 active 소자의 원활한 냉각을 위해 공랭식 팬을 이용하였다.

3. 가공실험

제작된 고주파 교류발생기 회로와 가공간극 사이에 임피던스 매칭을 위해 자동정합기 (Automatic impedance matcher)를 연결하였다. Fig. 5는 미세 와이어 방전가공 실험을 위한 회로, 자동정합기, 가공간극의 연결도를 보여준다.

Fig. 6은 미세 와이어 방전가공 시, 전압 및 전류 파형을 보여준다. 방전이 발생하지 않는 경우에 정현파의 전압 및 전류 파형이 관찰된다. 방전 발생 시에는 전압 파형이 급격히 감소되며 방전 전류가 형성된다.

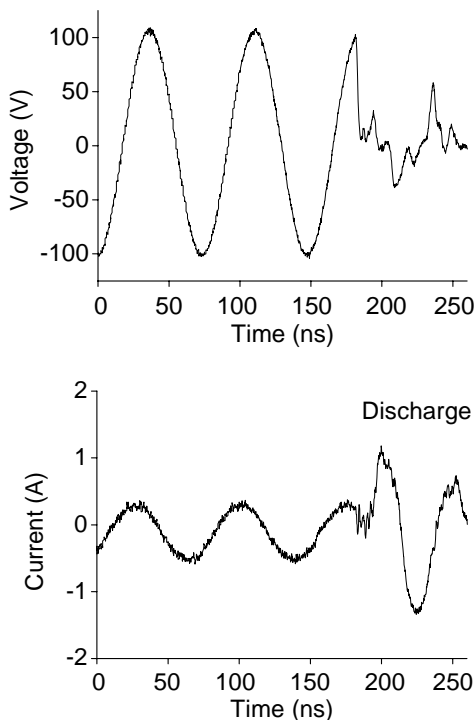


Fig. 6 Voltage and current waveforms during micro wire EDM

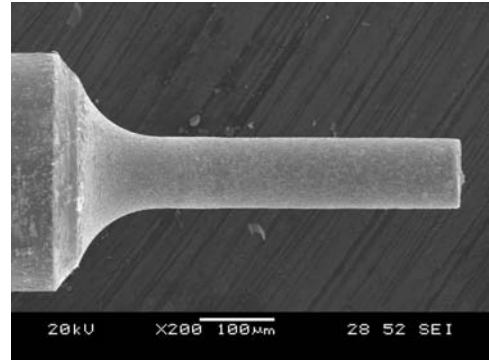


Fig. 7 Micro shaft by micro wire EDM using 13.56 MHz AC power source in tap water

Fig. 7은 미세 축을 가공한 결과이다. 재료는 초경합금이며, 절연액으로 수돗물을 사용하였다. 비저항이 낮은 수돗물을 사용하였지만 전해부식이 억제되어 표면조도 및 형상정밀도가 우수한 가공결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 전해부식 억제를 위한 미세 와이어 방전 가공용 고주파 교류전원을 개발하였다. Class E power amplifier를 이용하여 고주파 교류전원을 제작하였으며, 스위칭 주파수는 13.56 MHz이다. 제작된 전원을 이용하여 수돗물을 절연액으로 사용한 경우에 전해부식이 억제되고 형상정밀도 및 표면조도가 우수한 미세 축을 성공적으로 제작하였다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(NT080540)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Yamamoto, M., and Magara, T., "Power supply unit electric discharge machining apparatus," US patent 5064984, 1991.
2. Nakashima, T., Hattori, K., Ukai, Y., Taneda, A., Goto, A., and Hashimoto, T., "Power supply unit for wire electrical discharge machining and method of wire electrical discharge machining," US patent 6930273 B2, 2005.
3. Sokal, N. O., and Sokal, A. D., "Class-E - A new class of high-efficiency tuned single-ended switching power amplifiers," IEEE Journal of Solid-State Circuits, **SC10**, 168-176, 1975.
4. Thomas, K., Hinchliffe, S., and Hobson, L., "Class E switching-mode power amplifier for high-frequency electric process heating applications," Electronics Letters, **23**, 80-82, 1987.
5. Perez-Martinez, J. A., Pena-Eguiluz, R., Lopez-Callejas, R., Mercado-Cabrera, A., Alvarado, R. V., Barocio, S. R., and de la Piedad-Beneitez A., "Power supply for plasma torches based on a class-E amplifier configuration," Plasma Processes and Polymers, **5**, 593-598, 2008.
6. Kazimierczuk, M. K., and Czarkowski, D., "Resonant power converters," New York, John Wiley & Sons, 1995.
7. Frenzel Jr., L. E., "RF power for industrial applications," New Jersey, Prentice Hall, 2004.