韓國精密工學會 '97年度 春季學術大會論文集 pp.827~831

펄스지속시간에 따른 형상방전가공 특성

우 정윤*(경남대 대학원), 왕 덕현(경남대 기계공학부), 윤 존도(경남대 무기재료공학과)

Characteristics of Die Sinking Electrical Discharge Machining for Pulse Duration

JeongYun Woo(Graduate School), DuckHyun Wang, JonDo Yun(Kyungnam Univ.)

ABSTRACT

Conductive ceramic matrix composite(CMC) workpiece of TiC 33%/Al_2O_3 66%/Y_2O_3 was machined by die sinking electrical discharge machining(EDM) according to different pulse duration and duty factor for reverse polarity of electrode. Material removal rate(MRR) was examined by process under various operating conditions. The surface morphology was evaluated by surface roughness values and scanning electron microscopy(SEM) research. The more MRR was obtained according to increase pulse duration and duty factor. Also the maximum surface roughness(R_{max}) of EDMed surface was slightly changed with increased pulse duration and duty factor. The SEM photographs of EDMed surface showed wide recast distribution region of melting materials in purse duration 0.130(ms) than 0.048(ms).

Key Words : Electrical Discharge Machining(방전가공), Ceramic Matrix Composite(세라믹수지복합체), Material Removal Rate(공작물제거속도), Duty Factor(듀티팩터), Scanning Electron Microscopy(주사전자현미경), Maximum surface roughness(R_{max}:최대표면거칠기)

1. 서 론

난삭재료인 세라믹수지복합체와 금속수지복합체는 금속재료에 비해 경도가 높고 가공상의 문제점 때문에 고정밀도의 기계적부품과 성형이 어려운 구조적부품 등으로 상품화하기에는 어려움이 많다. 그리고 이러한 제품들은 고정밀도를 요구하기 때문에 가공후 다듬질 가공을 필요로 하며, 다이아몬드 숫돌을 이용한 연삭이 이루어지는데, 고강도의 재료를 연삭하다보니 숫돌의 심한마멸이 발생하여 연삭비용 또한 높아 경제적인 부담으로 남게 되었다. 그러나 산업사회가 발달함에 따라 이러한 재료들의 사용범위는 점차적으로 넓어지고 있으며, 특성상 기지재로 한 재료로 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 선진국에서는 이미 실용화 단계에 있다[1,2]. 그러므로 이러한 어려움을 극복할 수 있는 가공방법으로 특수가공, 일반가공 및 내마멸성이 높은 공구의 사용이 요구된다. 특수가공방식인 초음파가공, 방전가공 및 일반공구 등을 이용한 가공방식으로서 이러한 재료의 가공이 가능한데, 그중 방전가공은 전기전도성이 있는 재료의 빠른 가공이 가능하고, 또한 어려운 형상가공을 하는데 가장적합한 방법이다[3].

세라믹수지복합체의 가공성으로 Petrofes[4]는 표면거칠기를 측정하였으며, 특히 가공속도가 증가할수록 크레이터의 체적이 크고 표면거칠기 상태가 나빠진다는 것을 알았으며, Ramulu[5]등은 abrasive waterjet가공과 방전가공 방법으로 세라믹복합체인 TiB_2/SiC의 가공성 연구를 시도하였다. Tomac[6]은 공구의 심한 마멸, 절삭력, 표면거칠기 및 칩형태 등에 관하여 연구를 하였으며, Yuan[7]등은 SPDT공구를 사용하여 복합체의 초정밀가공에 대해 연구를 하였다. 그리고 Weinert[8]는 절삭공구의 플랭크 마멸 메카니즘에 관한 연구를 하였는데, 복합재료의 강화재 입자의 크기와 절삭공구 조직의 크기에 많은 영향을 받는다고 하였다. 또한 Kremer[9]등은 초음파 사용 여부에 따른 방전가공을 통해서 공작물제거

속도, 잔류응력 및 미세경도 등을 비교 분석하였으며, 특히 초음파를 이용한 방전가공에서는 피삭재와 전극봉사이의 간극이 적을지라도 불안정 없이 가공이 잘 이루어진다고 하였다.

본 연구에서는 알루미나 입자 66%와 탄화티타늄 33% 포함된 세라믹수지복합체를 피가공물로 사용하여 가공 조건에 따른 형상방전가공에서 공작물제거속도, 표면거칠기 및 전자현미경을 통한 소재의 미세구조 변화를 통하여 특성을 파악하고자 한다.

2. 방전가공 원리 및 이론

방전가공은 도전성재료인 피가공물과 형상을 이룬 전극봉 사이에서 발생하는 열에너지에 의해 국부적으로 피삭재를 용융 가공하는 방법으로, 방전가공에는 와이어를 이용한 방전가공과 형상 방전가공이 있다. 이러한 방전가공은 코로나방전에서 시작되어 불꽃방전, 아아크방전 등의 방전주기 형태를 이루면서 연속적으로 방전이 일어나는데, 본 실험은 역극성으로서 전극봉은 양극, 피가공물을 음극으로 하여 형상방전가공을 하였다. 그리고 Fig. 1은 가공 중에서 발생하는 높은 열로 인해 가공액에 대한 용융부의 냉각, 응고 및 극간의 탈이온화 등에 의해 피가공물상에 용융층, 증발층과 같은 미소한 방전흔적이 생기면서 가공이 이루어지는데, 이러한 현상들을 나타내고 있다.

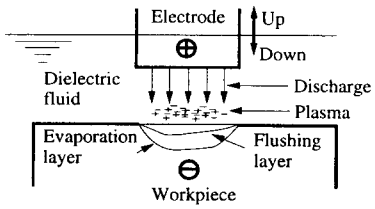


Fig. 1 Electrical discharge machining process

3. 실험방법 및 실험장치

본 실험에서는 Fig. 2에 나타낸 것처럼 헤드 부분, 전극봉홀더, 작업탱크, 베드 및 조작패널 등으로 구성되어 있는 형상 방전기 SERVO Ⅲ를 사용하였다. 방전가공은 피가공물을 척에 고정시켜 방전유에 함침시키고, 형상 전극봉을 헤드부분의 공구홀더에 설치하여 유압제어식으로 상하 방향으로 작동시켜, 전류, 방전시간 및 휴지시간을 변화시키면서 실험을 하였다.

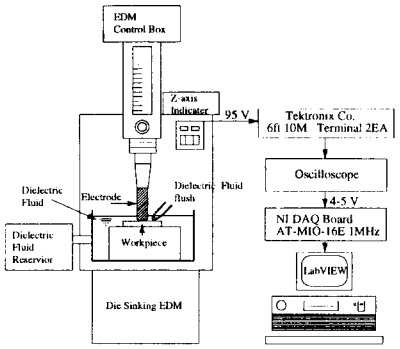
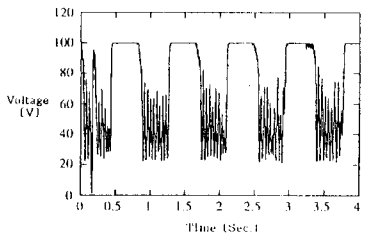
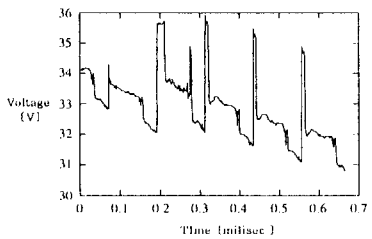


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

그리고 전류에 따라 방전시간 및 휴지시간의 변화를 듀티팩터의 인자로 전압신호를 A/D 변환기를 통해 PC에 저장한 후 데이터를 행렬로 변환하여 분석을 한 up/down시간 및 on/off시간의 직접 측정은 전압이 높아 SERVO Ⅲ의 전원 조작패널로 직접 A/D 변환기를 통해 데이터를 받을 수 없기 때문에 전압을 낮출 수 있는 Tektronix사의 6ft 10MΩ 단자 2개를 연결하여 약 95V정도의 전압을 4-5V로 낮춘 후 National Instruments사의 NI DAQ Board와 LabVIEW 프로그램을 이용한 분석으로 Fig. 3(a)와 3(b)에 각각 나타내고 있다.



(a) Voltage change due to up/down



(b) Instant voltage change due to on/off time

Fig. 3 Wave forms of discharge voltage

또한 방전가공은 유압제어식으로 헤드부가 up/down을 반복하는 과정중 down시간에 방전이 진행되고, up되는 동안 칩이 유출되면서 가공이 되는 것인데,

Fig. 3(a)는 up/down이 반복되고 있는 과정이고, 그 중 down시간에서 일부분은 Fig. 3(b)처럼 방전유도시간, 방전시간 및 휴지시간으로 나타낼 수 있다.

방전가공을 실행한 후에 공작물의 무게를 10^{-4}g의 전자저울로 측정한 뒤 실행전 상태와 비교하여, 공작물제거속도(MRR)를 파악하였으며, 실제 공작물제거속도는 up시간을 제외한 down시간에서 계산한 가공속도이다. 방전가공된 면은 표면거칠기 측정장치인 Surftest-501(Mitutoyo)을 사용하여 동일 조건으로 2회 반복 측정으로 최대표면거칠기(R_{max}) 값들을 측정하였다. Fig. 4는 실험에 사용된 피가공물과 전극봉을 그림으로 나타낸 것으로 피삭재 무게는 약7g이고, 크기가 8x10x25㎜인 TiC/Al_2O_3 세라믹수지복합체로 화학적 성분은 Table 1에 나타내고 있다.

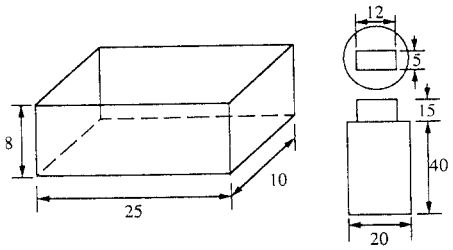


Fig. 4 Workpiece and electrode

그리고 전극봉은 직경 20㎜인 순도 99.9% 구리를 이용하여, 5x12x15mm의 직사각형 모양으로 가공하여 실험에 사용하였고, 무게는 약100g정도이며, 가공깊이는 동일 간격으로 0.3mm까지 각각의 조건에 따라 가공을 하였으며, 전극봉 구리에 대한 기계적 성질 값은 Table 2에 나타내고 있다.

Table 1 Mechanical properties of TiC/Al_2O_3 composite

Density (kg/㎤)	Hardness (Hv)	Conductivity (cal/m · s · K)
4237.2	2,050	8
Heat capacity (cal/kg · K)	Heat diffusion coefficient(m^2/s)	Melting point (K)
268.186	$1.153x10^{-6}$	2679.27

Table 2 Chemical composition and properties of Cu

Chem. comp.(%)		Tensile Str. (kg/㎟)	Elongation (%)	Conductivity
Cu	Cr, Ti,	25	15	102
99.9	small			

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 방전유도시간, 방전시간 및 휴지시간의 변화에 따른 듀티팩터값들의 차이를 Table 3에 나타내었다. 전류 조건에 관계없이 방전유도시간, 방전시간 및 휴지시간을 변화시켰을 때 듀티팩터 값들은 0.24, 0.30, 0.45값들을 나타내고 있다. 듀티팩터가 0.24, 0.30일 경우에는 방전유도시간과 방전시간의 차이는 많이 생기지 않지만, 듀티팩터가 0.45인 경우에는 0.24, 0.30보다 많은 차이가 생긴다는 것을 알 수가 있다. 그러나 듀티팩터에 따른 휴지시간의 차이 비교에서는 그다지 많은 차이가 없다는 것을 알 수가 있었으며, 또한 듀티팩터 0.24인 경우 방전유도시간은 거의 없다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3 Duty factor for different EDM conditions

τ_w(㎲)	τ_{on}(㎲)	τ_{off}(㎲)	DF
0.000	0.048	0.152	0.24
0.007	0.059	0.129	0.30
0.024	0.130	0.134	0.45

Fig. 5는 펄스지속시간에 따른 전류에 대한 공작물제거속도를 나타낸 것이다.

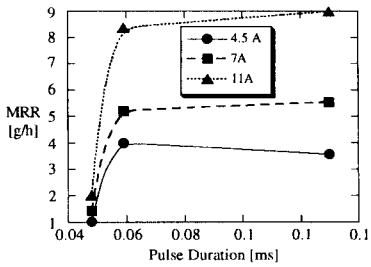


Fig. 5 MRR vs. current for pulse duration

펄스지속시간이 0.048(ms)일 경우 전류간의 공작물제거속도의 차이는 거의 없지만, 펄스지속시간이 0.059(ms)일 경우에는 전류간의 공작물제거속도 차이가 생긴다는 것을 확인할 수 있었고, 펄스지속시간이 0.059(ms)와 0.130(ms)일 경우에는 공작물제거속도 차이가 비슷하다는 것을 그림을 통해서 알 수 있다. Fig. 6은 펄스지속시간에서 듀티팩터 변화에 따른 공작물제거속도 차이를 나타낸 것이다. 듀티팩터 0.24일경우에는 펄스지속시간이 증가하여도 공작물제거속도의 차이 변화는 거의없는데, 듀티팩터 0.30, 0.45일경우에는 많은차이가 생긴다는 것을 확인할 수 있다. 특히 듀티팩터 0.30과 0.45에서는 펄스지속시간이 증가함에 따라 공작물제거속도의 차이

는 큰폭으로 변화한다는 것을 확인하였다.

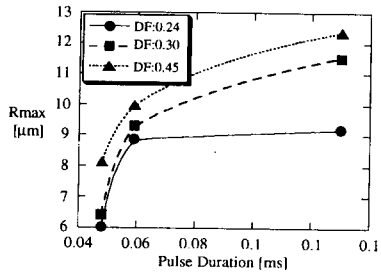


Fig. 6 MRR vs. duty factor for. pulse duration

Fig. 7은 펄스지속시간 변화에서 전류에 따른 최대표면거칠기상태를 나타낸 것으로, 펄스지속시간이 증가함에 따라 최대표면거칠기상태가 나빠지고 있다는 것을 확인할 수 있으며, 특히 전류 4.5A보다 7A와 11A일 경우에 표면상태가 더욱 나쁘다는 것을 그림을 통해서 알 수 있다.

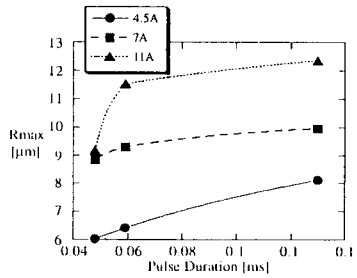


Fig. 7 Maximun surface roughness vs. current for pulse duration

Fig. 8은 듀티팩터변화에 따른 최대표면거칠기상태를 나타낸 것으로 펄스지속시간이 지남에 따라 거칠기가 나빠진다는 것을 볼 수 있다. 그리고 듀티팩터간의 차이에서 표면거칠기상태변화는 많지않지만, 펄스지속시간 0.048(ms)와 0.130(ms)비교에서는 차이가 많다는 것을 알 수 있다.

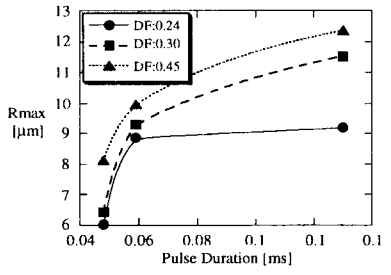
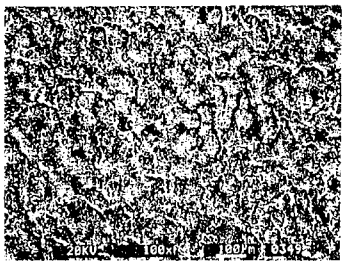


Fig. 8 Maximum surface roughness vs. duty factor for pulse duration

Fig. 9(a)부터 9(c)까지는 전류 7A에서 펄스지속시간의 변화에 따른 방전가공면의 미세조직을 관찰한 것으로, 배율을 100배로 하여 관찰한 것으로 펄스지속시간이 증가할수록 방전흔의 크기가 점점 크진다는 것을 육안으로 볼 수 있었고, 방전가공시 발생한 미세한 구멍들이 군데군데 많이 분포되어있으며, 펄스지속시간이 증가할수록 미세한 구멍 또한 크다는 것을 확인할 수 있었다.



(a)Pulse duration (0.048ms)

(b)Pulse duration (0.059ms)

(c)Pulse duration (0.130ms)

Fig. 9 SEM of process surface (7A)

5. 결 론

도전성 세라믹수지복합체를 형상 전극봉의 역극성에 의한 펄스지속시간변화에 따른 방전가공 실험으로 공작물제거속도, 최대표면거칠기 및 미세조직분석 등을 통하여 다음과 같은 결론들을 얻었다.

1. 펄스지속시간이 증가함에 따라 공작물제거속도는 증가한다는 것을 확인하였다.

2. 최대표면거칠기는 펄스지속시간이 0.048(ms)보다 0.130(ms)일경우에 훨씬 나쁘다는 것을 알았다.

3. 방전가공면의 미세조직은 펄스지속시간이 증가함에 따라 가공면의 미세한구멍과 용융층과 같은 방전흔 모양이 크다는 것을 확인하였다.

참고문헌

[1] T. W. Clyne, J. F. Manson, "The squeeze infiltration process for fabrication of metal matrix composites," Metallugical Transaction A, Vol. 18A, pp. 1519-1530, 1987.

[2] A. Mortesen, J. A. Comie, "On the infiltration of metal matrix composites," Metallugical Transaction A, Vol. 18A, pp. 1160-1163, 1987.

[3] M. Ramulu, "EDM Sinker Cutting of Ceramic Particulate Composite SiC-TiB_2," Advanced Ceramic Materials, Vol. 3, No. 4, pp. 324-327, 1988.

[4] N. Petrofes, A. Gadalla, "Electrical Discharge Machining of Advanced Ceramics," Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 6, pp. 1048-1052, 1988.

[5] M. Ramulu, H. W. See and D. H. Wang, "Machining of Ceramic Composites TiB_2/SiC by Spark Erosion," Manufacturing Review, Vol. 3, No. 2, pp. 123-129, 1990.

[6] N. Tomac, K. Tonnessen, "Machinability of Particulate Aluminium Matrix Composites," Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, pp. 55-58, 1992.

[7] Z. J. Yuan, L. Geng and S. Dong, "Ultraprecision Machining of SiCw/Al Composites," Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 107-109, 1993.

[8] K. Weinert, W. Konig, "A Consideration of Tool Wear Mechanism when Machining Metal Matrix Composites(MMC)," Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 95-98, 1993.

[9] D. Kremer, J. L. Legbrun, B. Hosari and A. Moisan, "Effects of Ultrasonic Vibrations on the Performances in EDM," Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 199-202, 1989.