

SiC/Al 복합재료의 방전가공 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Electrical Discharge Machining of SiC/Al Composites

우 정윤(경남대 대학원), 왕 덕현, 이 윤경, 김 원일(경남대 기계공학과) 이 규창(산업과학기술연구소)

J. Y. Woo, D. H. Wang, Y. K. Lee, W. I. Kim(Kyungnam Univ.) and G. C. Lee(RIST)

ABSTRACT

Metal Matrix Composite(MMC) material of 30% SiC particulate based on Al matrix was machined by drilling and Electrical Discharge Machining(EDM) processes. When drilling process was executed, surface fracture due to brittle property near the bottom was found. It was also found the possibility of difficult shape of EDM process for MMC material, but few the research about basic EDM characteristics. Material Removal Rate(MRR) was examined for different conditions and the surface morphology was evaluated by roughness values and Scanning Electron Microscopy(SEM) research. The higher the current is, the more MRR was obtained but the higher MRR was showed around 0.45 duty factor. The average roughness of EDMed surface was slightly changed with increased pulse current and increased with duty factor. The SEM photographs of EDMed surface showed recast region after melting.

Key Words : Electrical Discharge Machining(방전가공), Material Removal Rate(공작물제거량), Duty Factor(듀티팩터), Surface roughness(표면거칠기), SEM(전자현미경)

1. 서론

첨단 기술의 발전에 요구되는 부품들의 특성을 충족시키기 위해서는 기존의 구조용 재료로는 기능성의 한계와 같은 어려움이 대두되어 선진국에서는 첨단 신소재 개발에 몰두하고 있으며, 고온에 견디는 세라믹 복합재료 뿐만 아니라 파괴강성이 높은 금속수지 복합재료도 많은 연구와 실용화 단계에 있다[1,2]. 산업사회의 발달로 요구되는 소재도 다양화되어지고 있지만, 또한 실제 부품으로서 사용하기에는 가공 기술이 필요하며 기존의 방법으로는 이와 같은 신소재의 가공에 의한 부품으로서의 활용에는 어려움이 많다.

알루미늄, 마그네슘과 같은 경금속을 기지로 하는 소재의 연구가 활발히 이루어지고 있으며[3], 일반적으로 알루미늄은 가볍다는 특성뿐만 아니라 비강도, 내식성, 열전도도 등이 우수하며, 가공성도 비교적 좋다. 알루미늄을 기지로 하는 금속수지 복합재료는 미국, 일본, 및 유럽 등 선진국에서 자동차 및 항공기의 필수 부품으로 실용화되고 있고[4,5], 국내

에서는 학계 및 연구소를 중심으로 연구가 진행되고 있으나, 아직 제조시 높은 비용과 상대적으로 낮은 파괴인성등으로 실제 그 응용이 저조한 실정이다.

알루미늄을 기지로 하고 SiC와 같은 세라믹 섬유의 첨가에 의한 금속수지 복합재료는 기존의 가공방법으로는 어려움이 발생하며, 이를 극복하기 위해 특수가공이나 내마멸성이 높은 공구의 사용이 요구되고 있다. 특히 선삭, 밀링, 드릴링 등의 가공방식으로는 고정밀도와 복잡한 형태의 가공이 어려운 실정이며, 금속수지에 SiC와 같은 강화섬유의 첨가는 드릴가공시 밀면에서 취성에 의한 파괴가 발생하여 가공에 어려움이 있다. 특수가공방식인 레이저가공, 초음파가공, 방전가공 등이 이러한 재료의 가공방법으로 가능성이 있는데, 그 중 방전가공은 전기전도성이 있는 재료의 빠른 가공이 가능하며 또한 어려운 형상가공을 하는데 가장 적합한 방법이다 [6]. 하지만 금속수지 복합재료의 방전가공에 관한 연구는 극히 드물며, 그 중 Tomac[7]는 공구의 심한 마멸, 절삭력, 표면거칠기, 칩형태 등에 관하여 연구를 하였다. 한편 세라믹

복합재료의 방전가공후 가공성 평가로 Petrofes[8]는 표면거칠기를 측정하였으며, 특히 가공속도가 증가할수록 크레이터의 체적이 크고 표면거칠기는 나빠진다는 것을 알았다. Ramuluf[6,9]등은 abrasive waterjet가공과 방전가공 방법으로 세라믹복합재료인 TiB₂/SiC의 가공성의 특성 연구를 시도하였다.

본 연구에서는 SiC 입자가 30% 함유된 Al 금속수지 복합재료에 일반적인 드릴가공시 밀면에서 취성파괴가 발생하여, 복잡한 형상 등의 가공이 가능한 방전가공의 가능성 및 특성을 평가하고자 한다. 본 연구를 수행하기 위하여 방전가공의 원리를 파악하고 가공 조건에 따른 공작물 제거량, 표면거칠기 및 전자현미경에 의한 소재의 미세구조 변화를 통하여 특성을 연구하려 한다.

2. 방전가공

방전가공(EDM)은 전극봉(electrode)과 공작물 사이에 스파크방전이 발생하여 그 열로 국부적으로 소재를 가공하는 방법이다. 방전가공에는 다이싱방전과 와이어컷방전가공이 있으며, 방전되는 주기는 코로나방전에서 시작되어 불꽃방전, 아아크방전 형태를 통하여 절연파괴로서 연속적으로 방전이 일어나며, 이러한 과정으로 가열작용과 충격력 발생에서 생기는 열에 의해서 주변의 방전액은 기화상태로 되고 용융층과 증발층이 생긴다. Fig. 1은 이러한 방전가공에서의 용융층과 증발층의 발생 현상을 나타내고 있다.

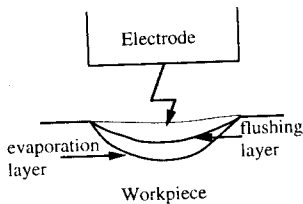
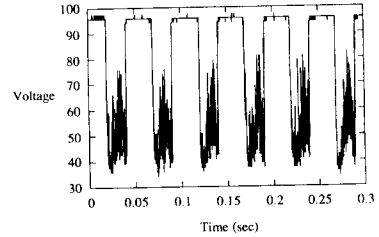


Fig. 1 Electrical discharge machining process

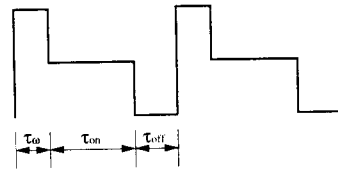
방전가공은 칩의 유출을 돕기 위하여 헤드부가 up/down을 반복하여 down시간에 방전이 진행되고, 헤드부가 up되는 동안 칩의 유출을 돕는다. Fig. 2(a)는 up/down이 반복되고 있는 과정이고, 그중 down시간에서 일부분은 Fig. 2(b)처럼 방전유도시간, 방전시간 및 휴지시간으로 나타낼 수 있다. 이러한 up/down시간 및 on/off시간의 직접 측정은 전압이 높아 SERVOM의 전원 control패널로 직접 A/D converter를 통해 데이터를 받을 수 없기 때문에 전압을 낮출 수 있는

Tektronix사의 6ft 10M Ω 단자 2개를 연결한 후 A/D converter를 통하여 486PC와 digital storage oscilloscope로 각각 측정하였다. Fig. 2(b)에서 실제 방전에 행하여진 시간은 듀티팩터로 나타낼 수 있으며, 듀티팩터는 방전유도시간, 방전시간 및 휴지시간의 합에 대한 방전시간의 비율로서 다음과 같다.

$$\text{듀티팩터}(DF) = \frac{\tau_{on}}{\tau_w + \tau_{on} + \tau_{off}} \quad (1)$$



(a) Voltage change due to up/down



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

Fig. 2 Wave forms of discharge voltage

3. 실험방법 및 실험장치

본 실험에서는 Fig. 3에 나타난 것처럼 헤드 부분, 전극봉 홀더, 작업탱크, 베드 및 control패널등으로 구성되어 있는 다이싱방전기 SERVOM을 사용하였다. 공작물을 방전유에 침차하여 칩에 고정시키고, 전극봉을 헤드부분의 공구홀더에 설치하여 전극봉을 유압제어식으로 상하 방향으로 이동시키면서 방전가공 조건들, 즉 전류와 방전시간, 휴지시간을 변화시키면서 그 특성을 파악하였다. 즉 전류에 따라 방전시간 및 휴지시간의 변화를 듀티팩터의 인자로 전압신호를 A/D 변환기를 통해 PC에 저장한후 데이터를 행렬로 변환하여 분석을 하였다.

방전가공을 실행한 후에 공작물의 무게를 10⁻⁴g의 전자저울을 이용하여 측정하여 실행전 상태와 비교하여, 방전가공시간당 공작물제거량(MRR)을 파악하였다. MRR은 up/down에서 up시간을 제외한 down시간당 실제 측정 가공량을 나타낸 값이다.

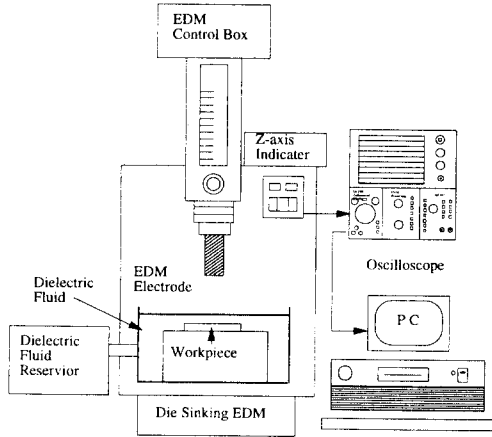


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

구멍 형상으로 방전가공된 면은 표면거칠기 측정장치인 Sufstest-501(Mitutoyo Japan)를 사용하여 중심선 평균거칠기 (Ra) 및 최대거칠기(Rmax) 값들을 측정하였다. 측정위치는 구멍의 90° 방향씩 돌아가며 각 위치점에서 2회 반복 측정하여 평균값을 구하였다. 한편 Fig. 4는 시편의 연마한 표면과 방전가공된 면의 관찰한 부분을 나타내고 있으며, Au코팅을 한후 전자현미경으로 표면상태를 얻었다.

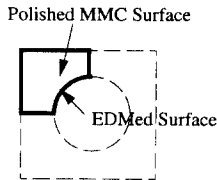


Fig. 4 Polished MMC surface and EDMed surface

실험에 사용된 재료는 60x30x10mm 의 SiC/Al 금속수지 복합재료로 화학적 성분은 Table 1에 나타나 있다. 전극봉은 직경 10mm, 99% 순도의 구리를 사용하였으며, 9mm의 깊이까지 동일한 간격으로 8개의 구멍을 방전가공 하였다. 전극봉 구리에 대한 기계적 성질값은 Table 2에 나타내고 있다.

Table 1 Chemical composition of SiC/Al composite

metal base (%)							ceramic fiber (%)
Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Al	SiC (particle)
12.5	1.1	0.9	1.57	0.8	0.1	bal.	30

Table 2 Chemical composition and properties of Cu

Chem. comp.(%)	Tensile Str.	Elongation	Conductivity
Cu Cr, Ti, Zr, small	25 kg/mm ²	15 %	102

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 방전시간 및 휴지시간을 변화시킬 경우의 듀티팩터의 값들이 Table 3에 나타내었다. 전류의 상태에 관계없이 방전시간과 유도시간을 변화시켰을 때 이 듀티팩터 값들은 0.24, 0.25, 0.67값들을 나타내고 있었으며, 듀티팩터가 0.24와 0.45인 경우 휴지시간이 어느 정도 존재하지만, 듀티팩터가 0.67인 경우 휴지시간이 크게 작아지고 있다. 듀티팩터가 0.67인 경우 휴지시간이 급속히 감소함에 따라 칩의 유출될 수 있는 시간이 작아지리라 사료된다.

Table 3 Duty factor vs. different EDM conditions

No.	$\tau_w(\mu s)$	$\tau_{on}(\mu s)$	$\tau_{off}(\mu s)$	DF
1	0.000	0.048	0.152	0.24
5	0.024	0.130	0.134	0.45
8	0.027	0.218	0.080	0.67

Fig. 5와 6은 듀티팩터와 전류에 대한 시간당 실제 공작물체거랑과의 관계를 각각 나타내고 있다. 듀티팩터가 0.24에서 0.45로 증가되는 경우 공작물체거랑은 증가하지만 듀티팩터가 0.67일 때는 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 전류 3단계에서 5단계 및 7단계로 증가되는 경우 공작물체거랑은 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 전류가 3단계에서 5단계로 변화할 때는 약간의 변화가 있지만, 7단계에서는 비교해 볼 때 많은 변화가 있다는 것도 알 수 있다.

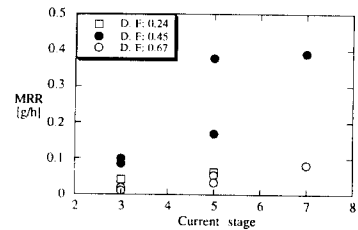


Fig. 5 MRR vs. current

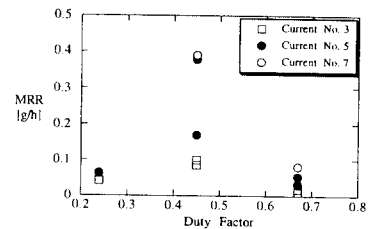


Fig. 6 MRR vs. duty factor

Fig. 7은 전류의 상태가 5단계이고 듀티팩터가 0.45인 경우 실제 측정된 표면거칠기의 곡선과 그 표면거칠기 값들을 나타내고 있다.

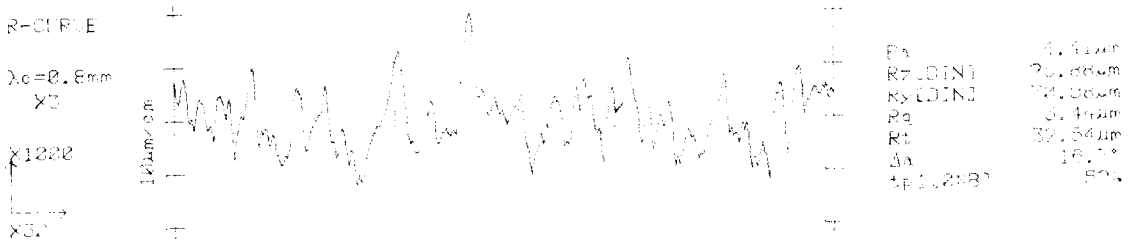


Fig. 7 Typical surface profiles of EDMed surface

Fig. 8은 전류 및 듀티팩터에 따른 중심선평균거칠기를 나타내고 있다. 전류 3단계에서 중심선평균거칠기가 약간의 차이가 있지만, 대체적으로 듀티팩터가 증가할수록 중심선평균거칠기는 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 Fig. 9는 같은 조건에서 최대표면거칠기를 나타낸 것이며, Fig. 8처럼 전류 3단계에서 약간의 차이가 있지만 듀티팩터가 증가할수록 최대표면거칠기도 나빠지는 경향이 있다.

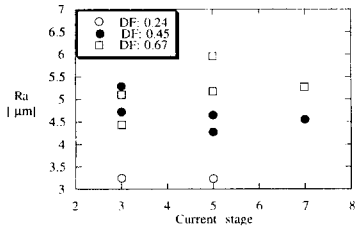


Fig. 8 Average surface roughness

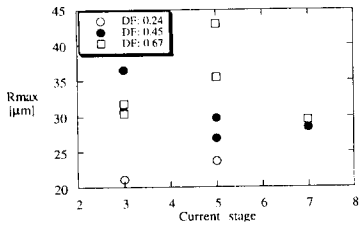
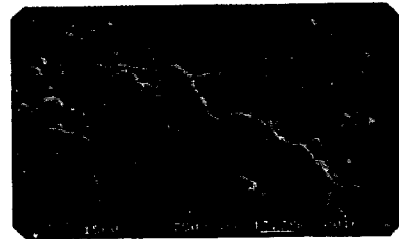


Fig. 9 Maximum surface roughness

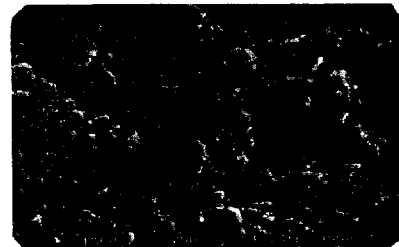
녹아서 연속적으로 흘러내리면서 순간적으로 재융착되는 현상으로 생각된다.



(a) Current 3 stage (Mag. x750)



(b) Current 5 stage (Mag. x750)



(c) Current 7 stage (Mag. x750)

Fig. 10의 (a), (b) 및 (c)는 전류가 3, 5, 및 7단계와 듀티팩터가 0.45인 경우에 각각의 방전가공면의 전자현미경 사진들이다. 전체적으로 가공된 면을 살펴보면 용융층이 재융착되어 미세 구멍형상들이 많이 존재하는 것이 나타났으며, 전류 3단계는 5단계보다 재융착된 입자의 크기가 적다는 것을 확인할 수 있었다. 전류 7단계일 경우에는 재융착이 고루 분포되어 미세 구멍형상이 적었으며, 융착된 표면 위에 작은 크기의 입자가 또한 많은 부분에서 존재하는 것이 확인되었다. 배율이 2000배이고 전류가 7단계인 Fig. 10(d)에서 무늬 모양의 흔적을 볼 수 있으며 이것은 열의 영향을 받아 칩이



(d) Current 7 stage (Mag. x2000)

Fig. 10 EDMed surface for different current

5. 결론

방전 가공에 의해 형상 가공된 금속복합재료 SiC/Al에서 중심선평균거칠기, 최대표면거칠기, 공작물제거량, 가공 형상 등을 통하여 최적 조건을 구할 수 있었으며, 그 특성에 대한 연구로 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1. 전류가 증가할수록 공작물제거량은 증가하고 있으며, 듀티팩터가 0.24에서 0.45로 증가되는 경우 공작물제거량이 증가하고 있지만 듀티팩터가 0.67인 경우 칩의 방출 시간이 작기 때문에 오히려 감소하는 경향을 나타내고 있다.
2. 중심선평균거칠기 및 최대표면거칠기는 전류 3단계에서 약간의 차이가 있지만 듀티팩터가 증가할수록 표면 거칠기는 나빠지는 경향이 있다.
3. 방전가공된 면은 용융층이 재융착과정중 미세 구멍형상이 형성되고 재융착된 크기는 전류에 따라 커지며, 전류 7단계에서는 작은 크기의 입자가 또 재융착면 위에 많이 발생하였다.

참고문헌

- [1] 이창수, 김영환, 임태원, 한경섭, "Al/SiC 금속복합재료의 마모특성," 한국복합재료학회 춘계논문초록집, pp.3-8, 1990.
- [2] "先端복합재료," 일본기계학회 편, pp. 97-115, 1990.
- [3] 조종두, 방부운, "SiC 입자강화 Al합금기 복합재료의 기계적 거동," 대한기계학회 추계학술대회 논문집(1), pp. 729-732, 1995.
- [4] T. W. Clyne, J. F. Manson, "The squeeze infiltration process for fabrication of metal matrix composites," Metallurgical Transaction A, Vol. 18A, pp. 1519-1530, 1987.

- [5] A. Mortesen, J. A. Comie, "On the infiltration of metal matrix composites," Metallurgical Transaction A, Vol. 18A, pp. 1160-1163, 1987.
- [6] M. Ramulu, "EDM Sinker Cutting of Ceramic Particulate Composite SiC-TiB₂," Advanced Ceramic Materials, Vol. 3, No. 4, pp. 324-327, 1988.
- [7] N. Tomac, K. Tonnessen, "Machinability of Particulate Aluminium Matrix Composites," Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, pp. 55-58, 1992.
- [8] N. Petrofes, A. Gadalla, "Electrical Discharge Machining of Advanced Ceramics," Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 6, pp. 1048-1052, 1988.
- [9] M. Ramulu, H. W. See, and D. H. Wang, "Machining of Ceramic Composites TiB₂/SiC by Spark Erosion," Manufacturing Review, Vol. 3, No. 2, pp. 123-129, 1990.