

역극성시 금속수지복합체와 세라믹수지복합체의 형상방전가공 특성

우 정윤(경남대 대학원), 왕 덕현, 이 윤경, 김 원일(경남대 기계공학부)

Characteristics of Die Sinking Electrical Discharge Machining for Metal Matrix Composite and Ceramic Matrix Composite in Negative Polarity

J. Y. Woo(Graduate School), D. H. Wang, Y. K. Lee, W. I. Kim(Kyungnam Univ.)

ABSTRACT

Conductive Ceramic Matrix Composite(CMC) of TiC/Al₂O₃ and Metal Matrix Composite(MMC) of SiC/Al were experienced by the die sinking Electrical Discharge Machining(EDM) for different current and duty factor according to negative polarity. In this experimental study, Material Removal Rate(MRR), maximum surface roughness, four point bending stress distribution and Scanning Electron Microscopy(SEM) photographs were analyzed. The higher MRR was obtained for CMC than MMC, but slowly decreased around duty factor of 0.67 for MMC and better surface morphology was found CMC than MMC. The SEM photographs of discharge traces for CMC showed uniform shape about 100 to 200 μ m in diameter, but MMC showed irregular shape.

Key Words : EDM(방전가공), CMC(세라믹수지 복합체), MMC(금속수지복합체), DF(듀티팩터), MRR(공작물제거량)

1. 서론

복합체에는 중합체수지복합체(PMC), 세라믹수지복합체(CMC), 금속수지복합체(MMC)로 수지

의 종류에 따라 분류할 수 있는데, 이중 CMC와 MMC는 가볍다는 장점 이외에 각각 고온에 견디는 성질과 파괴강성이 높은 재료로 국외적으로 자동차 및 항공기의 필수부품으로 대체되어 실용화 단계에 있으나, 국내에서는 절삭공구로, 혹은 연구가 진행되고 있는 실정이다.

이들 복합체들은 제조 성형하는데 가격이 비싼 점 이외에, 형상으로 최종 상품화 단계까지는 기존의 가공방식으로는 어려움이 있기 때문에 특수 가공방식의 가공기술이 필요로 한다. 이러한 어려움을 극복하기 위한 특수가공 방식으로는 초음파가공, 레이저가공 및 방전가공 등이 있는데, 그 중 소재가 전기전도성이 있으면 전극봉과 피삭재 사이에 스파크방전을 발생시켜 그 열로 국부적으로 피삭재를 가공하는 방법인 방전가공방법으로 복잡한 형상과 고정밀도를 만족시킬 수 있게 된다[1].

Ramulu[2,3]등은 가공속도가 빠른 조건에서 표면에 미세한 파손이 일어난다고 하였으며, abrasive waterjet가공과 방전가공 방법으로 세라믹복합체인 TiB₂/SiC의 가공성의 특성 연구를 시도하였다. Mohri[4]는 탄소강, 알루미늄을 피삭재로, 구리, 알루미늄, 텅스텐 카바이드, 티타늄 등을 소결시킨 복합재료 전극봉을 이용한 방전가공에 의한 피삭재 표면변형에 대해 연구하였으며, 작은 크랙, 높은 부식저항과 마멸저항을 확인하였다. Petrofes[5]는 세라믹복합체에 관한 연구로

방전가공후 가공성 평가로 표면거칠기를 측정하였는데, 가공속도가 증가할수록 크레이터의 체적이 크고 표면거칠기는 나빠진다는 것을 알았다.

본 연구에서는 도전성이 있는 세라믹수지복합체인 TiC/Al₂O₃와 금속수지복합체인 SiC/Al의 소재를 역극성에서 형상 방전가공시 공작물제거량, 표면거칠기, 4점 굽힘강도 측정으로 실제 방전가공면의 강도 분포 및 전자현미경을 통한 가공면의 미세조직변화의 관찰로 분화구 직경 및 방전흔의 크기와 형상 등을 분석함으로써 방전가공에 대한 특성을 파악하고자 한다.

2. 방전가공의 원리 및 이론

방전가공시 여러 종류의 전극을 사용할 수 있는데, 그 종류에 따라서 방전가공의 상태가 달라진다. Fig. 1은 흑연전극과 다른 금속전극을 사용하는 경우 방전되는 전압이 다르게 나타남을 알 수 있으며, 이 영향은 공작물제거량에 영향을 미치게 된다.

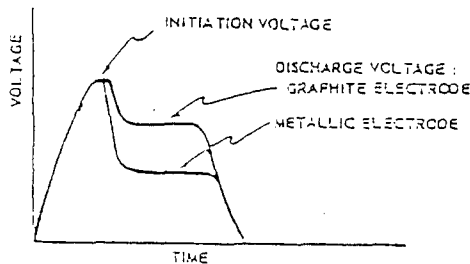


Fig. 1 Discharge voltage for graphite and metallic electrode

방전가공량은 방전에너지와 밀접한 관계가 있으며, 방전에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} VIt \quad (1)$$

이 식에서 V는 방전시 간극전압이고, I는 방전전류, t는 전류가 흐르는 시간이다. 피삭재 제거에 영향을 미치는 인자로 전류가 가장 크고, 시간은 Fig. 2에 나타낸 것처럼 듀티팩터로서 영향을 미치게 되는데, 실제 방전에 행하여진 시간은 듀티팩터로서 나타낼 수 있으며, 듀티팩터는 방전유

도시간, 방전시간, 휴지시간의 합에 대한 방전시간의 비율로서 다음과 같다.

$$\text{듀티팩터}(DF) = \frac{\tau_{on}}{\tau_w + \tau_{on} + \tau_{off}} \quad (2)$$

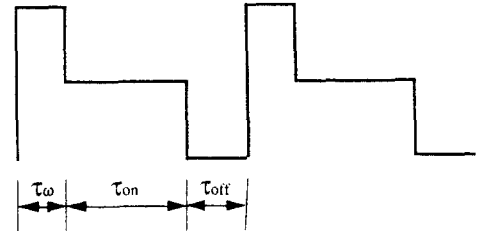


Fig. 2 Voltage change due to on/off

방전가공(EDM)은 전극봉(Electrode)과 피삭재 사이에 스파크방전을 발생시켜 그 열로 국부적으로 피삭재를 가공하는 방법으로, Fig. 3은 방전가공의 정극성과 역극성에 대해서 그림으로 나타내고 있다. 정극성일 경우에 전극봉은 양호하고, 피삭재면은 불량하며, 역극성은 반대로 피삭재면은 양호하고, 전극봉은 불량하다.

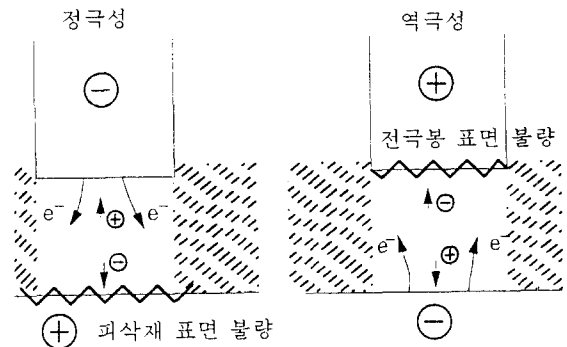


Fig. 3 EDM process for polarity change

3. 실험방법 및 실험장치

피삭재의 선정 및 시편 제작에 있어서, 절연성이 높은 Al₂O₃, MgO, SiC 등의 세라믹 재료에 도전성 물질로는 일반적으로 금속이 전기 전도도 면에서 우수하지만, 열적 및 기계적 성질 면에서 열등하므로, 도전성 세라믹을 선택하여 전기 전도도를 높이고, 기계적 성질을 증진시킨다. 이들의 저항률, 융점 및 미세강도 값들을 기존의 세라믹값과 비교한 것이 Table 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 재료의 선택 이유는 TiC, SiC가

포함됨에 따라 기계적, 열적 충격력이 증가하기 때문에 피삭재로 사용하였고, 무게 약6g인 TiC/Al₂O₃ 세라믹복합체와 무게가 약 15g인 SiC/Al 금속수지복합체를 피삭재로 사용하였으며, 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다.

Table 1 Properties of Ceramic

구분	저항률 ($\mu\Omega$ cm)	융점 ($^{\circ}$ C)	미세경도 (kg/m ²)
TiC	70~173	3180~3250	2900~3200
TaC	20~175	3740~3880	1800
NbC	74~254	3500~3800	2400
TiN	22~130	2900~3200	1800~2100
ZrN	11.5~14	2930~2980	1400~1600
AlN	2×10^7	2200~2300	1225~1230
SiC	$10^9 \sim 10^{11}$	2200~2700	3000~3500

Table 2 Properties of TiC/Al₂O₃

피삭재 : TiC(33%)/Al ₂ O ₃ (66%) Y ₂ O ₃ (1%)					
밀도 (kg/m ³)	열 용량 (cal/kg · K)	열확산 계수 (m ² /s)	경도 (Hv)	열전도도 (cal/m · s · K)	융점 (K)
4237.2	268.186	1.153×10^{-6}	2,050	8	2679.27

Table 3 Properties of SiC/Al

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%

본 실험에 사용한 다이싱킹 방전기 SERVO III를 Fig. 4에 나타내고 있으며, 전류와 듀티팩터들의 가공 조건들을 변화시키면서 가공성의 특성을 파악하였다.

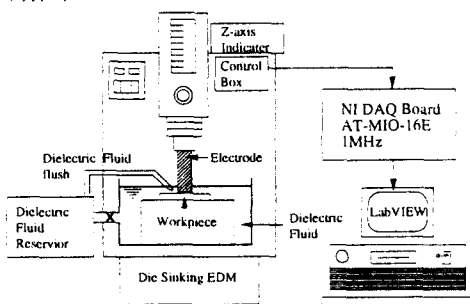


Fig. 4 Experimental set-up

방전/휴지시간 동안 전압의 변화를 측정하기 위하여 National Instruments사의 NI DAQ Board 와 LabVIEW 프로그램을 이용하여 데이터를 PC에 저장하여 분석한 것을 Fig. 5에 나타내고 있다.

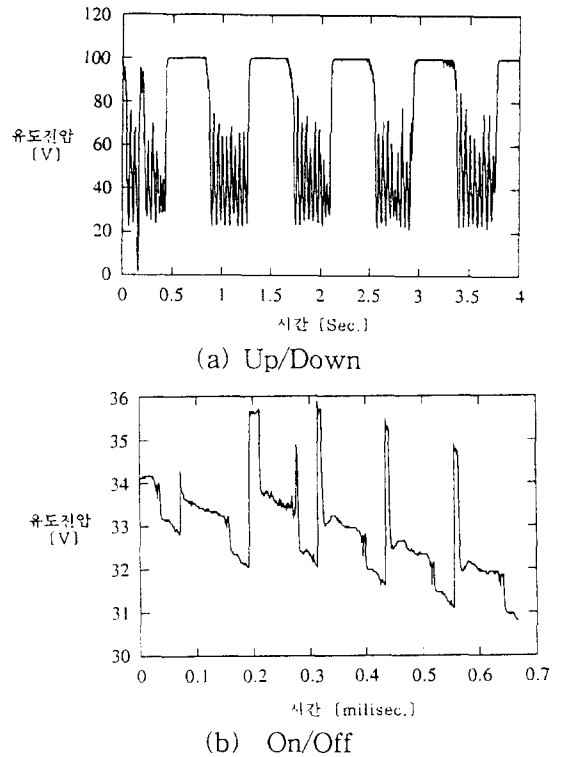


Fig. 5 Wave forms of discharge voltage

방전가공을 실행한 후에 공작물의 무게를 10⁻⁴g의 전자적시天秤을 이용하여 측정하여 실행 전 상태와 비교하여, 방전가공 시간당 공작물 제거량(MRR)을 파악하였다. 방전가공된 면은 표면 거칠기 측정장치인 SurfTest-501을 사용하여 동일 조건으로 2회 반복 측정으로 최대거칠기 (R_{max})값을 측정하여 평균값으로 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 방전가공성 평가

Fig. 6은 세라믹수지복합체와 금속수지복합체에서 전류 변화에 따른 공작물제거량을 나타낸 것으로 극성 모두 전류가 증가할수록 공작물제거량이 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 대체로 금속수지복합체보다 세라믹수지복합체의 공작물 제거량이 많다. Fig. 7은 듀티팩터의 변화에 따른

세라믹수지복합체와 금속수지복합체의 공작물 제거량을 나타낸 것이며, 두 경우에서 듀티팩터가 증가할 때 그리고 금속수지복합체보다 세라믹수지복합체에서 더 많은 공작물제거량을 얻을 수 있었다.

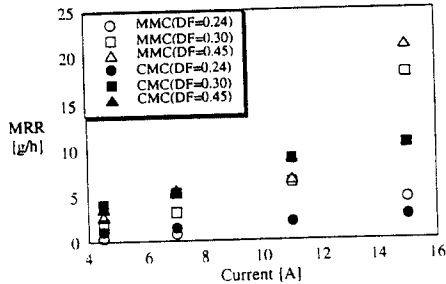


Fig. 6 Effects of current on MRR

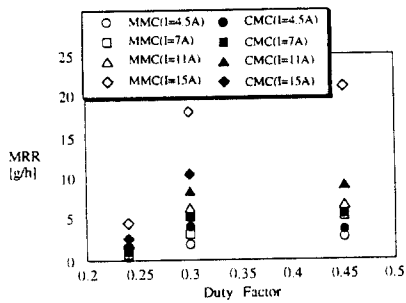


Fig. 7 Effects of duty factor on MRR

Fig. 8은 전류의 변화에 따른 최대표면거칠기를 나타내고 있으며, 모두 전류가 높을수록 최대 표면거칠기는 증가 경향을 보이고, 금속수지복합체보다 세라믹수지복합체인 경우에 최대거칠기값이 양호한 것으로 나타났다. Fig. 9는 듀티팩터에 따른 최대거칠기값을 나타내고 있다. 모두 듀티팩터가 증가할수록, 그리고 금속수지복합체보다 세라믹수지복합체일 경우에 최대표면거칠기가 양호한 것으로 나타났다.

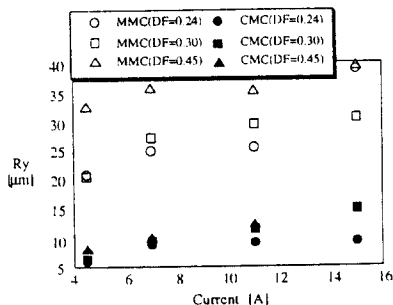


Fig. 8 Effects of current on maximum surface roughness

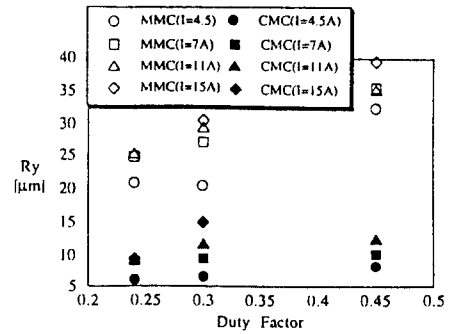
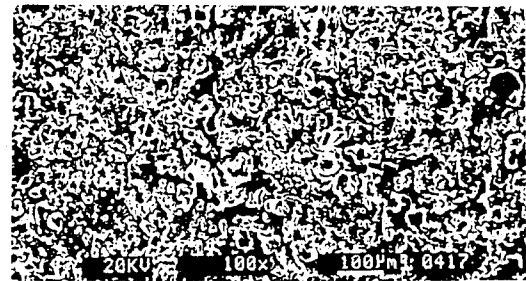


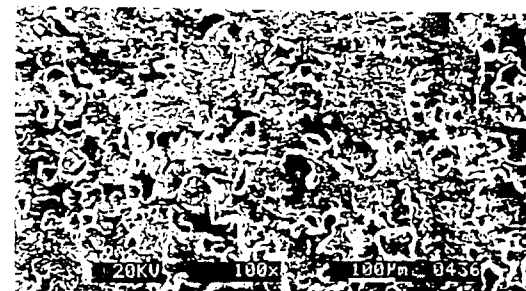
Fig. 9 Effects of duty factor on maximum surface roughness

4.2 미세조직 분석 평가

Fig. 10(a)와 10(b)는 금속수지복합체를 피삭재로 하여 역극성에서 방전가공한 면이다. 그림에서 보여주고 있듯이 듀티팩터가 증가함에 따라 용융층 형상들의 분포 영역이 크게 나타나고 있으며, 균대균대 움푹 파인 듯한 현상들도 볼 수 있다. 그리고 Fig. 11(a)부터 11(c)는 세라믹수지복합체를 피삭재로 역극성에서 방전가공한 면인데, 금속수지복합체의 방전가공면에서의 현상과 마찬가지로 듀티팩터가 증가할수록 용융층 형상들의 분포 영역이 크게 나타나고 있으며, 특히 금속수지복합체에서 확인할 수 없는 방전흔 형상을 세라믹수지복합체에서는 뚜렷하게 볼 수가 있다.

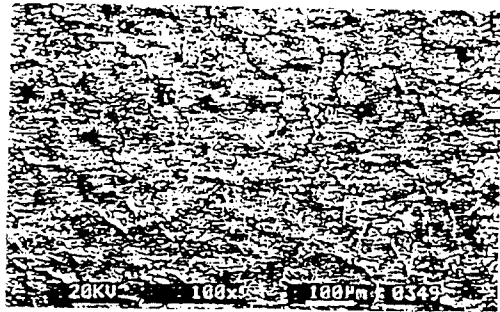


(a) DF=0.30

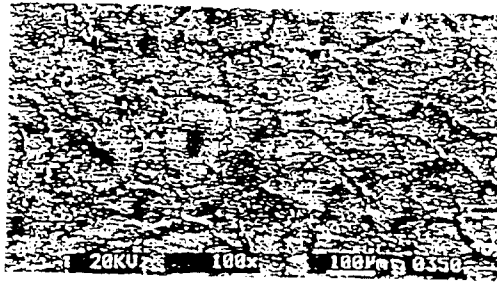


(b) DF=0.45

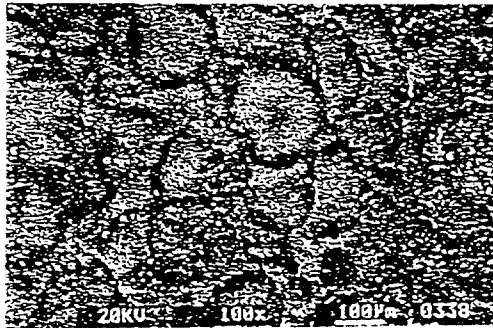
Fig. 10 SEM photographs of EDMed surface for MMC (current: 7A , Mag. x100)



(a) DF=0.24



(b) DF=0.30



(b) DF=0.45

Fig. 11 SEM photographs of EDMed surface for CMC(current: 7A , Mag. x100)

4.3 굽힘강도 분포 평가

연삭가공만 한 면과 연삭가공 후 방전가공한면에 발생하는 표면 손상의 평가를 하기 위한 것으로 시편을 3x4x40mm의 형태로 다이아몬드 연삭가공한 후에 방전가공을하여 4점 굽힘강도 시험을 한 값을 Table 4에 나타내었다. 표에서 나타내고 있는 것처럼 연삭가공만한면이 방전가공면보다 강도가 좋다는 것을 알 수 있는데 이것은 Fig. 12에 나타나고 있는 것처럼 방전가공시 부분적으로 미세한 파손들이 생기기 때문이다.

Table 4 Four point bending stress of CMC

구분	EDM		Grinding	
	파괴하중 (kgf)	굽힘강도 (MPa)	파괴하중 (kgf)	굽힘강도 (MPa)
1	42.010	346.826	58.25	478.8542
2	32.350	265.651	89.93	737.6817
3	36.110	297.097	83.22	688.1392
4	36.510	298.986	52.08	462.9902
5	43.620	357.719	51.68	424.3832
6	41.740	341.502	63.76	523.6249
7			74.5	612.4401
8			72.88	598.8723
9			45.1	371.5895
10			98.52	809.5622
평균	38.723	317.964	68.8992	567.2137
표준 편차	4.387	36.055	17.8185	146.6296

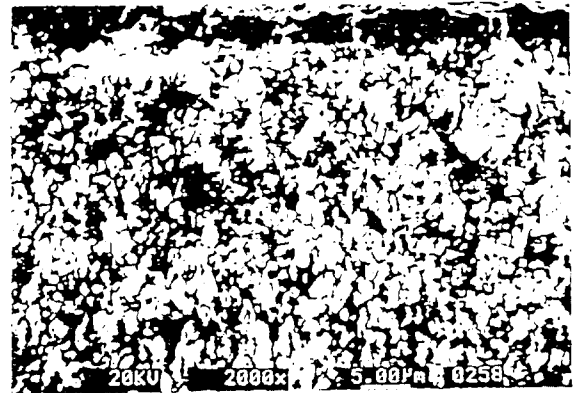


Fig. 12 SEM photograph of EDMed surface for CMC in negative polarity

5. 결 론

도전성 세라믹수지복합체 TiC/Al₂O₃와 금속수지복합체 SiC/Al를 피삭재로한 방전가공 실험에서 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1. 전류와 듀티팩터 증가에 따라 공작물제거량도 증가하는 경향을 보였으며, 금속수지복합체보다 세라믹수지복합체의 공작물제거량이 대체로 많은 것도 확인하였다.
2. 전류 및 듀티팩터가 증가함으로써 최대표면거칠기는 나빠졌고, 금속수지복합체에 비해 세라믹수지복합체의 거칠기가 훨씬 더 양호한

것으로 나타났다.

3. 금속수지복합체와 세라믹수지복합체의 미세조직분석에서 듀티팩터가 증가할수록 용융층의 분포 영역이 크게 나타났으며, 특히 세라믹수지복합체에서는 금속수지복합체에서 볼 수 없는 방전흔의 형상들을 뚜렷하게 구분할 수가 있었고, 방전흔의 크기는 약 100~200 μ m 정도이다.
4. 4점 굽힘강도 분포 측정에서 연삭가공면보다 방전가공면의 강도가 적은 것은 방전가공면에 미세한 파손들이 생기기 때문이다.

참 고 문 헌

1. M. Ramulu, "EDM Sinker Cutting of Ceramic Particulate Composite SiC-TiB₂," Advanced Ceramic Materials, Vol. 3, No. 4, pp. 324-327, 1988.
2. M. Ramulu, H. W. See, and D. H. Wang, "Machining of Ceramic Composite TiB₂/SiC by Spark Erosion," Manufacturing Review Vol. 3, No. 2, pp. 123-129, 1990.
3. M. Ramulu, M. Taya, "EDM machinability of SiC_w/Al composites", Journal of Materials Science Vol. 24, pp. 1103-1108, 1989.
4. N. Mohri, N. Saito and Y. Taunekawa, "Metal Surface Modification by Electrical Discharge Machining with Composite Electrode", Annals of the CIRP, Vol. 42, pp. 219-222, 1993.
5. N. Petrofes, A. Gadalla, "Electrical Discharge Machining of Advanced Ceramics," Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 6, pp. 1048-1052, 1988.