

Al₂O₃/CNT 복합재의 마이크로 방전가공 특성평가

Characteristic Evaluation in Micro-EDM of Al₂O₃/CNT Composite

*이재영¹, 탁현석¹, 정영근¹, #강명창¹, 정성실², 이대열²

*J. Y. Lee¹, H. S. Tak¹, Y. K. Jeong¹, #M. C. Kang(kangmc@pusan.ac.kr)¹, S. S. Jun², D. Y. Lee²

¹ 부산대학교 하이브리드소재 솔루션 국가핵심연구센터, ²(주)어플라이드카본나노

Key words : Micro EDM, Al₂O₃/CNT composite, Electrical conductivity, Drilling time

1. 서론

마이크로 방전가공(Micro-EDM)은 기존의 방전가공기술을 응용하여 단발 방전에너지의 극소화, 정밀화된 위치 결정을 통해서 실현된다. 이는 재료의 제한이 적고 비교적 강성이 크고 형상치수가 수십 μm 에서 수백 μm 에 이르는 마이크로 홀과 3차원 부품을 가공할 수 있는 기술이다. 이러한 가공은 전도성을 가진 광범위한 재료를 경도와 무관하게 가공 할 수 있으며, 또한 물리적인 힘이 발생하지 않는 비접촉식 가공이므로 가공 후 변형이 작은 특징을 가지고 있다.[1]

탄소나노튜브(Carbon Nano Tube;CNT)는 나노 크기로서의 특성뿐만 아니라, 우수한 기계적, 화학적, 열적, 전기적 특성으로 인하여 전자방출원, 복합재료, 정전기 및 전자과 차폐재, 연료전지 등 넓은 분야에서 21세기 미래를 주도할 신소재로서 주목받고 있다. 특히 전기전도성, 열전도도 및 인장강도가 구리와 알루미늄에 비하여 상대적으로 매우 높은 값을 가지며, 파괴 인성이 매우 우수하여 강화재로 사용한 복합재료의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.[2]

따라서, 본 연구에서는 다기능성 소형부품제작을 위하여 부도체특성을 가지는 세라믹(Al₂O₃)에 전기전도도가 뛰어난 CNT를 첨가하여 소결한 Al₂O₃/CNT 복합재를 대상으로 마이크로 방전가공에 의한 마이크로 홀 가공특성을 평가하였다. 그 방법으로 CNT의 체적비에 따른 방전가공 특성을 조사하였고, 광학현미경을 통하여 가공형상에 대해 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

실험에 사용된 마이크로 방전가공기(Hyper 15, Hybrid Precision co. LTD)는 Fig. 1에 보이는 바와 같이 RC-type의 전원공급장치에 의하여 방전이 생성되며, 최대 이송거리는 130mm × 75mm × 80mm 이고, x, y 그리고 z 방향의 Resolution은 0.1 μm 를 가진다. CNT는 (주)어플라이드카본나노에서 제조된 순도 90%의 Multiwall CNT 소재를 선택하였고, 환봉상태로 소결된 Al₂O₃/CNTs 복합재를 방전가공을 위해서 초정밀 공구연삭기를 사용하여 두께 0.5mm로 절단하여 가공물로 사용하였다. 방전가공시 사용된 전극은 150 μm 직경의 로드 (rod)형 텅스텐(Tungsten;W)이다. 방전가공유는 독일의 Oelheld에서 만든 방전액(Dielectric IME-MH)을 사용하였다.

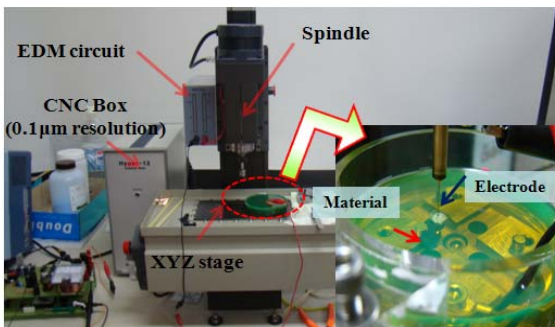


Fig. 1 Experimental device for Micro-EDM of Al₂O₃/CNT composite

2.1 실험방법

Fig. 2는 실험에 필요한 Al₂O₃/CNT 소재의 준비과정(Preparation process)과 가공시험편 절단 그리고 가공특성 평가의 흐름도를 나타내고 있다. Al₂O₃/CNT 복합재의 제조에 사용된 Al₂O₃는 스미토모사의 이소결성 Al₂O₃인 AES-11이다. 입도분포가 500 ~ 1000nm이고 소결조제로써 MgO가 0.1 wt.% 함유되어 있는 AES-11 분말을 알코올에서 볼밀 공정으로 Al₂O₃를 충분히 사전 분산 했고, 뒤의 분말 소재 복합과정에서 CNT 첨가시에 균일하게 분포되도록 처리하였다. 내부용량 6 l의 어트리션 볼밀에 AES-11과 CNT(1% vt, 3%vt, 5%vt, 10%vt)의 각각의 조성 비율을 계량한 후에 직경 5 mm의 SUS 304 볼 15kg와 함께 장입하여서 분산된 AES-11과 CNT를 복합화시켰다. 이 과정을 통하여 네 가지 조성비의 Al₂O₃/CNT 분말을 제조했다.

Al₂O₃/CNT 분말 소결 방식으로는 실비내 급속한 가열 및 냉각이 가능하여 단시간에 소결성형이 되는 스파크 플라즈마 소결(Spark Plasma Sintering; SPS)방식을 이용하였다. Al₂O₃/CNT 분말을 내경 20mm, 외경 60mm, 높이 50mm의 그라파이트 실린더몰드에 장입하였고, 소결온도 1380 $^{\circ}\text{C}$, 가압력 40MPa, 10분 동안 가압 유지시키는 방법으로 본 실험에 필요한 CNT의 체적비가 (1% , 3% , 5% , 10%)인 Al₂O₃/CNT 복합재를 제조하였다.

Al₂O₃/CNT 복합재의 CNT 체적비에 따른 전기전도도 특성을 알아보기 위하여, Hall effect measurement 방식을 도입하였으며, 5회 측정하여 평균값으로 평가하였다. 방전가공 실험은 충분한 예비실험을 통하여, 전압 200V, 컨덴서용량 10000pF 및 주축회전수 1000rpm으로 수행하였다. 가공특성은 CNT의 체적비에 따른 실제 가공시간을 비교하였으며, 마이크로 홀의 가공형상은 광학현미경(SZX10, Olympus)을 이용하여 측정하였다.

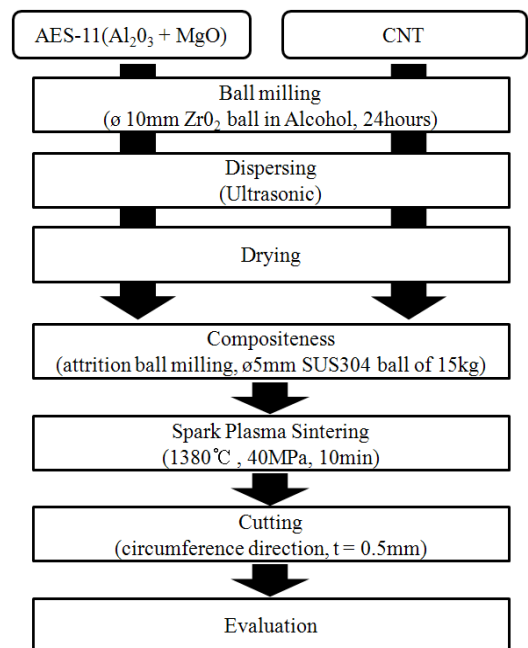


Fig. 2 Flow chart of experimental process for micro-EDM of Al₂O₃/CNT composite

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Al₂O₃/CNT 복합재의 소재특성

Al₂O₃/CNT 복합재의 CNT 1, 3, 5, 10 vol. % 소재의 CNT 함유량에 따른 분산정도와 전기전도도를 평가하였다. Fig. 3은 Al₂O₃/CNT 복합재의 SPS에 의한 소결상태를 광학 현미경(x200 배)으로 촬영한 결과를 나타내고 있다. 검은색 점으로 보이는 것이 CNT소재로서, 그 함유량이 증가할수록 분산되는 정도가 많음을 알 수 있다. 여기서, Al₂O₃/CNT 3vol.%와 Al₂O₃/CNT 10vol.%에서 CNT가 고르게 분산되지 않고, 부분적으로 약간 뭉쳐 있는 것을 알 수 있다.

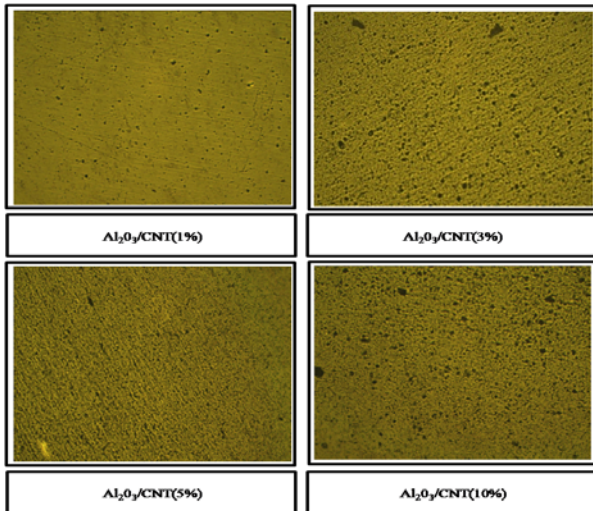


Fig. 3. Optical micrographs of Al₂O₃/CNT composite materials sintered by SPS device

Fig. 4는 Al₂O₃/CNT 복합재의 CNT 함유량에 따른 전기전도도 값을 나타내고 있다. 예상한 바와 같이, CNT 10vol.% 함유량일 때 전기전도도가 가장 우수하였다.

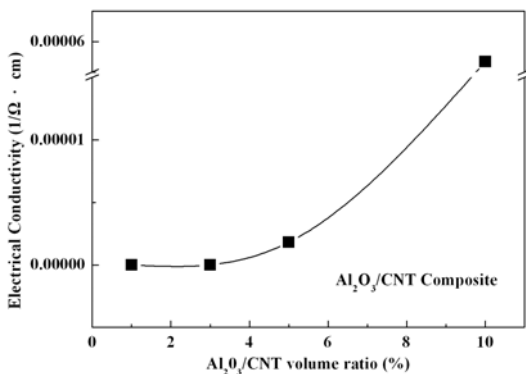


Fig. 4 Electrical conductivity of Al₂O₃/CNT composite with CNTs volume ratio

이상과 같은 결과로부터, Al₂O₃/CNT 복합재의 CNT 함유량에 따른 분산정도와 전기전도도가 마이크로 홀형상의 방전가공에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하였다.

3.2 Al₂O₃/CNT 복합재의 방전가공특성

4종류의 CNT 함유량에 따른 Al₂O₃/CNT 복합재의 마이크로 홀 가공시간에 대한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 가공시간은 각 시편당의 비교를 위해 최대 24시간까지 수행하였다. CNT의 체적비가 1%와 3%일 경우는 CNT의 분산정도와 무관하게 전기전도도의 부족으로 방전가공이 전혀 일어나지 않았다. 한편, CNT

5%일 때의 가공시간은 238분 18초가 소요되었으며, CNT 10%일 때는 가공시간이 29분 30초로 현저히 줄어들음을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 CNT의 함유량의 증가에 따른 전기전도도의 증가로 인하여 방전의 발생이 원활하게 이루어져서 가공시간이 단축되어진다고 생각되어진다. 기존의 전기전도도에 따른 방전 가공의 효과에 대한 결과와 잘 일치한다.

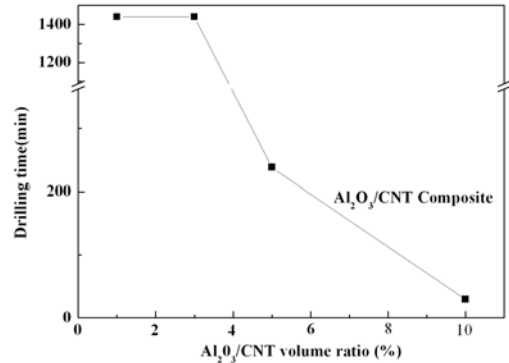


Fig. 5 Drilling time for micro-hole machining of Al₂O₃/CNT Composite

Fig. 6은 Al₂O₃/CNT 복합재의 마이크로 홀 가공한 상태의 가공물 사진이다. CNT 함유량 5%일 때가 가공상태가 매우 양호함을 알 수 있는데, 이러한 결과로부터 CNT의 분산정도에 따라 가공정밀도가 결정됨을 알 수 있다. 한편 CNT 함유량 10%일 때는 가공시간은 상당히 단축되지만, CNT의 분산정도의 불균일에 따라 가공정밀도가 상당히 저하됨을 알 수 있다.

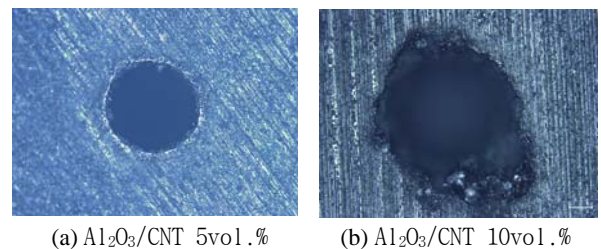


Fig. 6 Photo of micro-hole of Al₂O₃/CNT composite with CNTs volume ratio

4. 결론

부도체특성을 가지는 세라믹(Al₂O₃)에 전기전도도가 부여된 CNT를 첨가하여 소결한 Al₂O₃/CNT 복합재를 대상으로 마이크로 방전가공하여 다음과 같은 결과를 얻었다. Al₂O₃/CNT 복합재는 CNT의 함유량의 증가에 따라 비례적으로 전기전도도가 상당히 크게 증가함을 알 수 있고, 본 연구의 소결조건에서는 CNT 함유량 5%일 때가 분산정도가 매우 우수하였다. 이로부터 실제로 마이크로 홀 가공을 수행한 결과, CNT 함유량 10%일 때는 가공시간은 상당히 빠르지만, CNT분산정도의 불량으로 가공정밀도가 좋지 않았다. 반면에 CNT 함유량 5%일 때는 전기전도도의 부족으로 가공시간은 많이 소요되지만 CNT의 분산정도가 우수하여 가공정밀도가 매우 우수함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Lee, S.H., Li, X.P., "Study of the effect of machining parameters on the machining characteristics in EDM of WC", J. Mater. Process. Technol, 115, 344~355, 2001.
2. R.H. Baughman, A.A. Zakhidov and W.A. de Heer, "Carbon Nanotubes--the Route Toward Applications", Science, 297, 787~792, 2002.