

# 알루미나 세라믹의 플라즈마 용사코팅을 위한 용사조건의 최적화 Optimization of the spray parameters for plasma spray coating of alumina ceramic

이형근, 김대훈  
대전산업대학교 신소재공학부

## 1. 서론

플라즈마 용사기술은 고 용점 세라믹 분말을 고온, 고속의 플라즈마 화염 내에서 용융 분사시켜 금속의 넓은 표면을 빠르고 간단하고 효율적으로 코팅시킬 수 있는 방법이다. 최근 Hybrid IC(HIC)에 사용을 위한 절연 세라믹 코팅 금속기판 제조 등에 플라즈마 용사코팅기술의 응용 가능성이 검토되고 있다.

후막 HIC용 전기절연 기판은 대부분 소결 알루미나 기판을 사용하고 있다. 소결 알루미나 기판은 전기절연 특성은 우수하나, 방열 특성이 나쁘기 때문에 일부 응용분야에서는 여전히 문제점으로 남아 있다. 특히 우수한 방열특성이 요구되는 일부 HIC용 절연기판은 AlN와 같은 새로운 세라믹 소재를 개발하여 사용하고 있으나, 아직 일반적으로 사용되기에는 상당한 시간이 요구되고 있다. 방열특성을 개선시킬 수 있는 또 다른 방법은 알루미나 세라믹층의 두께를 최소화하는 방법이다. 즉 방열특성이 우수한 알루미늄 합금 위에 얇지만 충분한 절연특성을 갖는 알루미나 세라믹을 플라즈마 용사코팅함으로써 방열특성을 개선시킬 수 있다.

본 연구에서는 알루미나 세라믹을 Al 합금에 플라즈마 용사코팅하는 과정에서 표면거칠기의 최소화과 용사코팅효율의 최대화를 위한 플라즈마 용사코팅 조건을 설정하는 데 있다.

## 2. 실험방법 및 실험재료

용사를 위한 모재로는 Al 7075 합금을 사용하였다. Al 7075 합금은 가볍고 열전도도가 우수하며, 인장강도와 경도가 비교적 높아서 일부 Hybrid IC의 기판 소재로 사용하고 있다.

절연 세라믹 코팅을 위한 세라믹 용사분말은 예비실험 결과로부터 99.5%의 순도를 가지고, 입도가 미세한 알루미나( $Al_2O_3$ ) 세라믹을 사용하였다. 세라믹의 용사코팅층과 Al 모재와의 결합력을 높이기 위해서 본드(bond)코팅을 하였으며, 본드코팅용 분말은 입도가 비교적 낮은 Ni-5Al의 조성을 가지는 금속 용사분말을 사용하였다. 사용된 분말들의 간단한 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Characteristics of powder used in this research

Powder \ Property	Chemical Composition (wt%)	Size ( $\mu m$ )	Manufacturing Method
Alumina Ceramic	99.5 $Al_2O_3$	-20 +5	melting & crushing
Bond Coating	Ni - 5Al	-45 +11	atomizing

용사를 위한 전처리 과정으로서 그릿 브라스팅( grit blasting)을 수행하였으며, 이때 그릿( grit)은 20 mesh 치수의 알루미나 그릿을 사용하였다. 이전의 연구결과로부터 20 mesh의 그릿을 사용하였을 때, 약  $7\mu m$ 의 우수한 표면거칠기(Ra)를 얻을 수 있었다.

플라즈마 용사 장비는 Sulzer-Metco사의 M1100C 시스템과 F4 건(gun)을 사용하였다.

플라즈마 용사변수는 매우 복잡하고 다양하게 많으나, 본 연구에서 알루미나 세라믹의 플라즈마 용사변수로서는 분말송급 위치, 인젝터(injector) 직경, 인젝터 거리, 용사거리, Ar 유량, 분말송급개스 유량, 분말 송급량을 용사변수로서 선택하였다. Table 2에서는 실험변수들과 조건범위

를 Table 3에서는 실험배열을 보여 준다. 실험조건의 범위는 예비실험을 통하여 결정하였으며, 실험의 배열은 L18 직교배열표를 사용하였다. 본드코팅층의 플라즈마 용사조건은 이전의 연구에서 결정된 최적 용사조건을 사용하였다.

Table 2 Plasma apraying parameters and experimental range

No	Parameter \ Level	1	2	3
1	Powder Feeding Position	Top	Bottom	
2	Injector Diameter (mm)	1.5	1.8	2.0
3	Injector Distance (mm)	4	6	8
4	Spray Distance (mm)	100	115	130
5	Plasma Gas Flow Rate (Ar)(SLPM)	40	46	52
6	Powder Carrier Gas Flow Rate(SLPM)	2.8	3.5	4.2
7	Powder Feed Rate (g/min.)	16	24	32

Table 3 Experimental arrangement of plasma spray coating parameters

No.	Powder Feeding Position	Injector Diameter (mm)	Injector Distance (mm)	Spray Distance (mm)	Ar Flow Rate (SLPM)	Carrier Gas Flow Rate (SLPM)	Powder Feed Rate (g/min.)
1	Btm	1.8	8	115	52	3.5	16
2	Top	1.5	4	100	40	2.8	16
3	Btm	2	4	115	52	2.8	24
4	Btm	1.8	6	100	46	2.8	32
5	Btm	1.8	4	130	40	4.2	24
6	Top	2	8	130	46	2.8	24
7	Btm	2	8	100	46	4.2	16
8	Btm	1.5	4	130	46	3.5	16
9	Top	1.5	6	115	46	3.5	24
10	Btm	1.5	6	100	52	4.2	24
11	Top	2	4	100	52	3.5	32
12	Btm	1.5	8	115	40	2.8	32
13	Top	1.8	6	130	52	2.8	16
14	Top	1.8	4	115	46	4.2	32
15	Top	1.5	8	130	52	4.2	32
16	Top	2	6	115	40	4.2	16
17	Top	1.8	8	100	40	3.5	24
18	Btm	2	6	130	40	3.5	32

### 3. 결과 및 고찰

플라즈마 용사조건의 변화에 따른 표면거칠기의 변화는 Fig. 1에서 보여준다. SN비(signal to noise ratio)에 의한 분석결과는 표면거칠기 절대값에 의한 분석결과와 거의 같은 경향을 나타내었기 때문에, 실험결과는 표면거칠기 절대값으로 표시하였다. 표면거칠기는 전반적으로 3.5 ~ 4.5  $\mu\text{m}$ 의 범위에 있었으며, 본 연구에서 사용한 플라즈마 용사조건은 세라믹 코팅층의 표면거칠기에는 큰 영향이 없었다. 그러나 그 중에서는 인젝터 직경이 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 용사거리와 분말 송급개스 유량이 다음으로 영향을 미쳤다. 그러나 분말 송급위치, Ar 플라즈마 개스 유량, 인젝터 거리, 분말 송급량은 거의 영향을 미치지 않았다. 이러한 결과들로부터 알루미늄나 세라믹 코팅층의 표면 거칠기를 낮추기 위해서는 인젝터 직경은 1.5 mm, 용사거리는 115 mm, 분말 송급개스 유량은 3.5 - 4.2 SLPM이 적당함을 알 수 있었다.

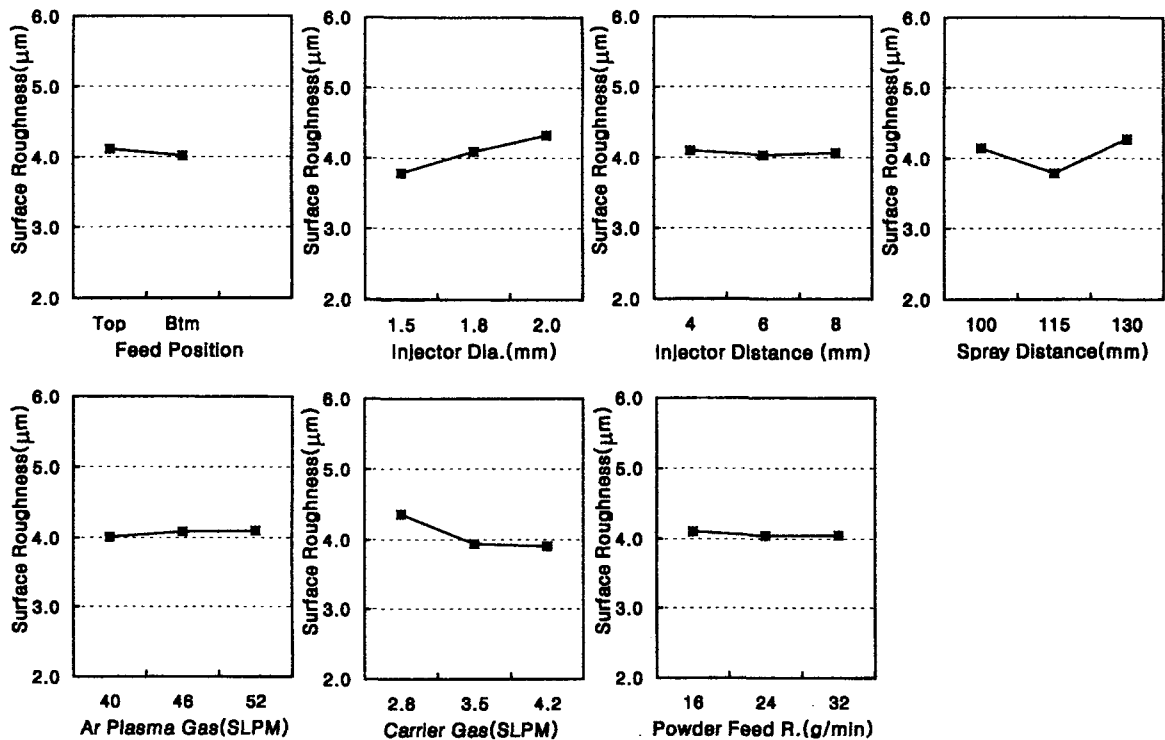


Fig. 1 Effects of the plasma spray conditions on surface roughness

용사조건의 변화에 따른 용사코팅효율의 측정결과는 Fig. 2에서 보여준다. 용사코팅효율은 본 연구에서 사용한 플라즈마 용사조건에 큰 영향을 받았다. 용사코팅효율은 인젝터 직경, Ar 플라즈마 개스 유량, 분말 송급개스 유량에 매우 큰 영향을 받았다. 인젝터 거리와 분말 송급량도 용사코팅효율에 약간의 영향을 미쳤으나, 분말 송급위치와 용사거리는 거의 영향을 미치지 않았다. 이 결과들로부터 용사코팅효율을 높이기 위해서는 인젝터 직경은 1.5 mm, Ar 플라즈마 개스 유량은 40 SLPM, 분말 송급개스 유량은 4.2 SLPM이 적당함을 알 수 있었다.

실험결과에서 표면거칠기는 플라즈마 용사조건에 거의 영향을 받지 않으나, 용사코팅효율은 크게 영향을 받는다. 따라서 용사코팅효율을 최대로 얻을 수 있는 용사조건을 최적의 플라즈마 용사조건으로 선택할 수 있다. 추가의 확인실험에서 분말송급은 아래쪽으로부터, 인젝터 직경은 1.5 mm, 인젝터 거리는 6 mm, 용사거리는 115 mm, Ar 플라즈마 개스 유량은 40 SLPM, 분말 송급개스 유량은 4.2 SLPM, 분말송급량은 24 g/min의 플라즈마 용사조건을 설정하였을 때

75.5%의 매우 높은 용사코팅효율을 얻을 수 있었다.

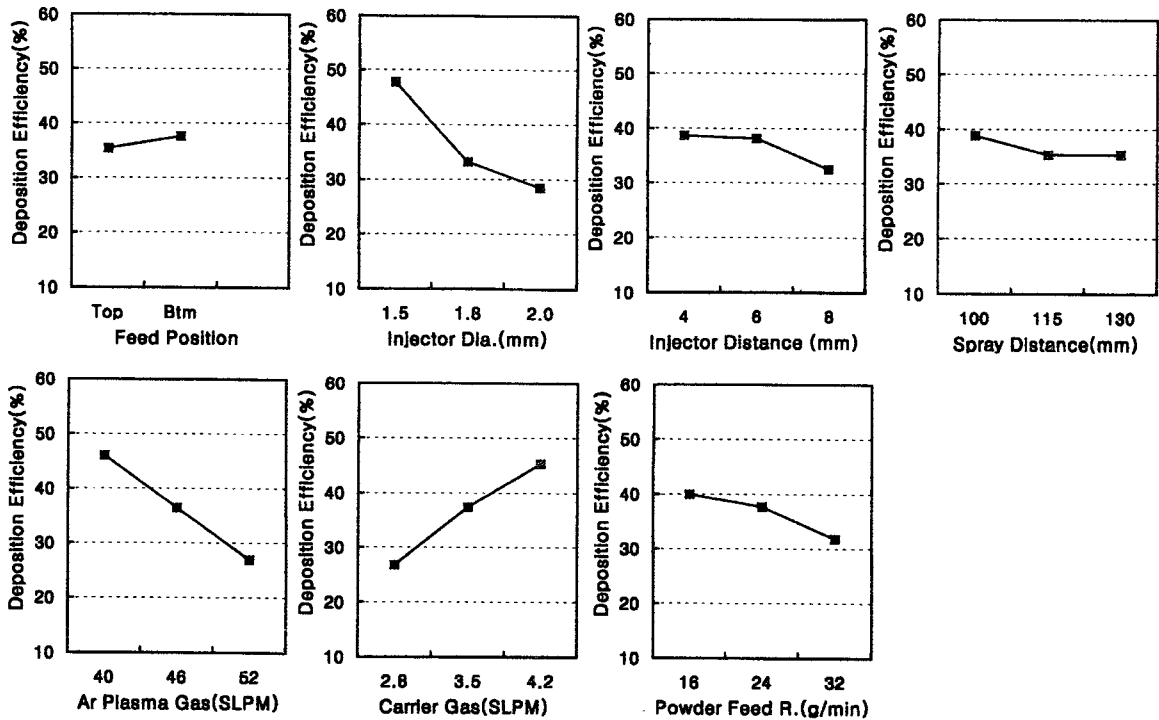


Fig. 2 Effects of the plasma spray conditions on deposition efficiency

#### 4. 결론

1. 본 연구에서 사용한 플라즈마 용사조건은 표면거칠기에는 큰 영향을 미치지 않았으나, 용사코팅효율에는 매우 큰 영향을 미쳤다.
2. 용사코팅효율에는 인젝터 직경, Ar 플라즈마 개스 유량, 분말 송급개스 유량이 가장 큰 영향을 미쳤다.
3. 초기의 플라즈마 용사조건에서 약 30%의 용사코팅효율을 얻었으나, 실험계획법을 사용한 플라즈마 용사조건에 의해 용사코팅효율을 75.5%까지 높일 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

1. H. G. Wang and H. Herman, "Plasma-sprayed cordierite : dielectric and electrical properties, Surface and Coating Technology", vol.37, 1989
2. T. J. Steeper, W. L. RiggsII, D. J. Varacalle, Jr and A. J. RptolicoA, "Taguchi design of experimental study of plasma sprayed alumina coatings", Proc. of the 1993 NTSC, Anaheim, CA, 7-11 June, 1993.
3. L.Pawlowski, "Structure-dielectric properties-Relationship in plasma sprayed alumina coatings", Report of Technische Keramik GmbH & Co. KG, Germany
4. Brown, L., "The Dielectric behavior of plasma-sprayed oxides", Ph. D. Thesis, SUNY at Stony Brook, 1987.