

플라즈마 용사된 원적외선방사 세라믹 용사층의 특성에 관한 연구

A study on the properties of plasma sprayed far-infrared radiation ceramic coating

홍성준·서동수
충남대학교 재료공학과

1. 서론

19C초 적외선이 처음 발견된 이래 원적외선에 대한 관심은 날로 증가하였고 과학 기술이 발달함에 따라 원적외선 방사체의 원리 및 효과가 하나 둘씩 밝혀지게 되면서 최근에 원적외선은 각종 생산제품에 대한 건조공정에서의 에너지 절감, 가전제품, 농산물의 건조, 환자 치료등 많은 분야에 이용되고 있다. 이렇게 원적외선의 응용분야가 광범위한 가장 큰 이유는 관련산업에서 쓰고 있는 각종 대상물질의 흡수 파장영역이 원적외선의 파장영역과 일치하기때문인데 이러한 원적외선의 작용에는 가열작용과 비가열작용이 있다. 가열작용에 이용되는 원적외선 방사체에는 램프형, 튜브형, 허니컴형, 코팅형 등이 있으며 이 중에서 코팅형 원적외선 방사체는 튜브 형태나 판 형태의 금속 표면에 원적외선 방사 세라믹스를 피복하여 제조하게 되는데 피복 방법에는 적시기(dipping)법, 분무(spray)법, 용사(thermal spray)법 등이 이용되고 있다. 이러한 여러 가지 제조방법들 중에서 최근에 용사법을 원적외선 방사체 제조에 많이 이용하고 있는데 용사법을 적용함에 있어서 용사분말의 분말특성(화학적분, 입자크기, 입도분포, 입자모양)과 용사변수(gun type, gun power, plasma gas combination, powder feed rate, gun-to-work distance, rotation speed, gun traverse rate등)에 따라 용사층의 미세구조 및 특성이 달라지게 되고, 이들 변수들이 적절이 조합되어야만 신뢰성 있는 용사제품을 제조할 수 있게 된다. 이와 같은 열용사법의 특성 때문에 열용사 코팅법으로 제조된 원적외선 방사 제품에서 발생하는 가장 큰 문제점은 사용중에 용사층의 박리가 일어나 내구성이 떨어진다는 점이며, 그 원인은 금속모재와 원적외선 세라믹 용사층간의 열팽창계수 차이에서 발생하는 응력과 부주의한 사용에 의한 응력에 기인한다. 이러한 응력 조건에서도 견딜 수 있는 용사층을 형성시키기 위하여서는 금속모재와 세라믹 용사층간의 열팽창계수 차이의 완화와 접합강도 향상 및 용사층의 인성 향상이 요구된다. 이를 위하여 원적외선 세라믹분말에 인성이 우수한 금속분말을 혼합하여 제조된 용사용 세라믹/금속 복합분말이 필요하나 현재 상업적으로 판매되고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 용사용 세라믹/금속 복합분말 제조를 위한 분무건조공정을 확립함으로써 용사분말을 자체적으로 제조하여 사용하였으며, 분말 특성에 적합한 플라즈마 열용사조건을 규명하였다. 또한 원적외선방사 세라믹의 조성, 세라믹/금속 혼합비에 따른 원적외선 방사특성을 규명함으로써 원적외선 방사체의 실용화를 촉진하고자 하였다.

2.본론

본 연구의 전체적인 실험 공정도는 Fig. 1과 같으며, 실험 공정도에 따라 두 종류의 원적외선 세라믹분말과 알루미늄 금속분말을 준비하고 분말특성을 분석한후 원적외선 세라믹분말

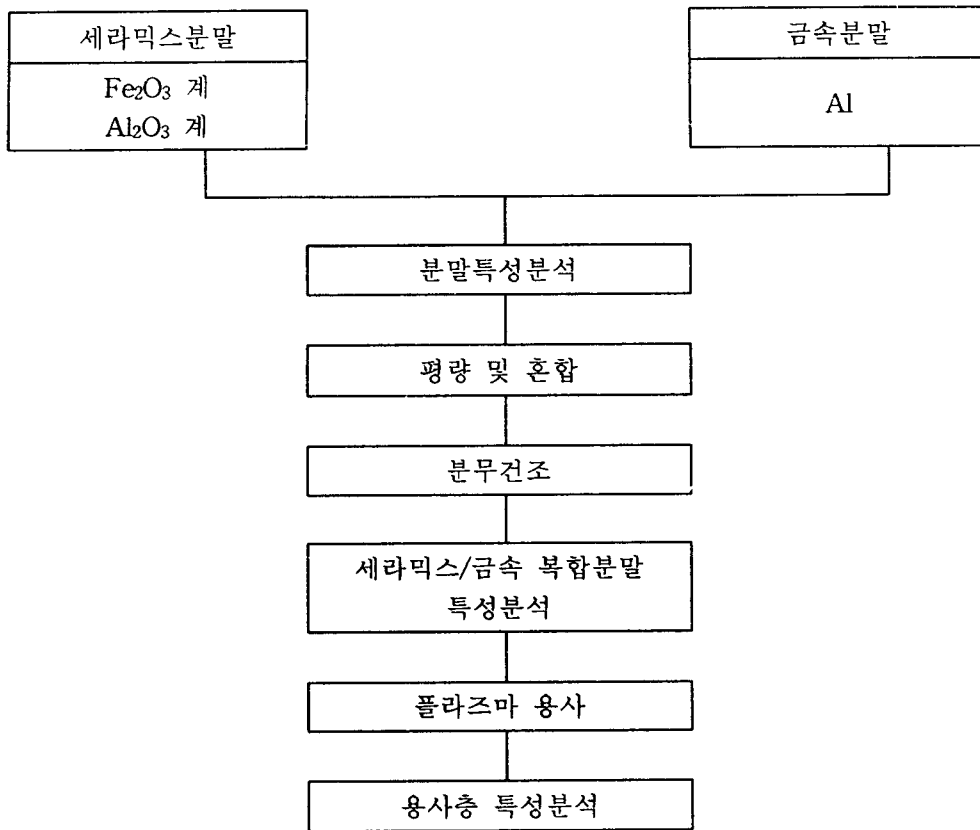


Fig. 1 Flow chart of experimental procedure.

과 알루미늄 금속분말을 주어진 혼합비에따라 혼합하여 분무건조를 위한 slurry를 제조하였다. 이렇게 제조한 slurry를 table 1의 조건으로 분무건조하여 세라믹/금속 복합분말을 제조하고 특성을 분석하였으며 table 2의 조건에 따라 플라즈마 용사하였다. 마지막으로 각 조건으로 제조된 용사코팅층의 특성을 분석하였다. 원적외선 세라믹분말은 Fe₂O₃ 계 분말과 Al₂O₃ 계 분말을 사용하였으며 금속분말은 알루미늄을 사용하였다. 분말특성은 분말입형, 평균입자크기 및 입도분포, 성분, 결정상 등을 분석하고 원적외선 방사율을 측정하였다. 입형은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였고 레이저 입도분석기를 이용하여 평균입자크기와 입도분포를 측정하였으며, EDAX와 XRF로 성분분석 하고 XRD로 결정상을 분석하였다. 그리고 원적외선 방사율은 분산형 분광기를 이용하여 200℃에서 측정하였다. 분무건조는 용사용 복합분말 제조에 적합한 최적조건을 알아보기위하여 slurry의 solid content를 slurry 총중량의 40%, 50%, 60%로 변화시켜 보았고 분무건조기의 disc 회전수를 6000, 7000, 8000, 9000, 10000 R.P.M으로 변화시켜 보았다. 여기서 얻어진 최적조건으로 알루미늄양에 따른

용사층의 특성을 알아보기 위하여 원적외선 세라믹분말과 알루미늄분말의 혼합비를 중량비에 따라 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50으로 변화시켜 분무건조하였다. 분무건조된 복합분말의 특성분석은 구경(funnel diameter)이 2.5mm인 hall flowmeter를 이용하여 유동도를 측정하였고 체가름법을 이용하여 입도분포를 측정하였으며 주사전자현미경으로 입형을 관찰하였다. 이렇게 제조한 복합분말을 플라즈마 용사함에 있어서 금속모재는 알루미늄합금

Table 1. Conditions for spray drying

inlet air temperature	210℃
outlet air temperature	110℃
slurry temperature	25℃
slurry feeding rate	33ml/min
disc rotation speed	6000, 7000, 8000, 9000, 10000 R.P.M.
solid content in slurry	40%, 50%, 60%
binder in slurry	5% bentonite
dispersant in slurry	3% sodium tartrate
chamber pressure	-19.6 dPa

Table 2. Conditions for plasma thermal spray

Spray Gun	gun type	MBN
	nozzle type	432
Gas	primary gas	Ar
	pressure(psi)/flow rate (cc/min)	75/80
	secondary gas	H ₂
	pressure(psi)/flow rate (cc/min)	50/10, 15, 20
Power	ampere (A)	500
	voltage (V)	70, 75, 80
Powder Feed	carrier gas flow rate (cc/min)	36
	powder feed rate (g/min)	60
	shaft type	B
Spray Condition	work distance (mm)	80, 100, 120
	gun traverse speed (mm/sec)	100
	rotation speed (r.p.m.)	500

판을 사용하였고 최적용사조건을 알아보기위하여 용사변수중 용사출력을 35, 37.5 40kW로, 용사거리를 80, 100, 120mm로 변화시켜 용사, 비교한후 최적의 조건에서 혼합비가 다른 복합분말들을 각각 용사하여 그 특성을 분석하였다. 용사층의 특성분석은 주사전자현미경을 이용하여 미세구조를 관찰하고 XRD로 결정상을 분석하였으며 용사층을 30, 60, 90° 로 bending하여 금속모재와 용사층사이의 접합상태를 관찰하고 $\Delta T=500$ 의 조건에서 열충격 시

험을 100회 반복하여 열충격저항성을 알아보았다. 그리고 원료분말과 같은 조건으로 용사층의 원적외선방사율을 측정하여 원료분말의 원적외선특성과 용사층의 원적외선특성을 비교 분석하였다.

3. 결론

1. 원료분말들의 특성에서 Fe_2O_3 계 원적외선분말, Al_2O_3 계 원적외선분말, 알루미늄분말의 평균입자크기는 각각 4.15, 5.03, 6.84 μm 이었다.
2. 분무조건은 50% solid content - 8000R.P.M.의 조건에서 용사에 가장 적합한 입도분포와 유동도를 나타내었으며 분무조건된 복합분말들은 알루미늄이 비교적 고르게 분포하는 구형의 형태이었다.
3. 플라즈마 용사조건은 40kW의 용사출력과 80mm의 용사거리가 가장 적당하였으며, 용사층의 기계적 특성은 30% 이상의 알루미늄을 포함하는 용사층에서 우수한 특성을 나타내었다.
4. Fig. 2에 나타낸 원료분말과 용사층의 원적외선특성을 비교해보면 Fe_2O_3 계의 경우, 용사층의 원적외선방사율이 원료분말의 원적외선방사율보다 8 μm 이하의 단파장 영역에서는 월등하게 증가하고 11 μm 이상의 장파장 영역에서는 약간 감소함을 알 수 있다. 반면 Al_2O_3 계의 경우에는 전체적으로 용사층의 원적외선방사율이 원료분말의 원적외선방사율보다 나쁘게 나타나고 있다.

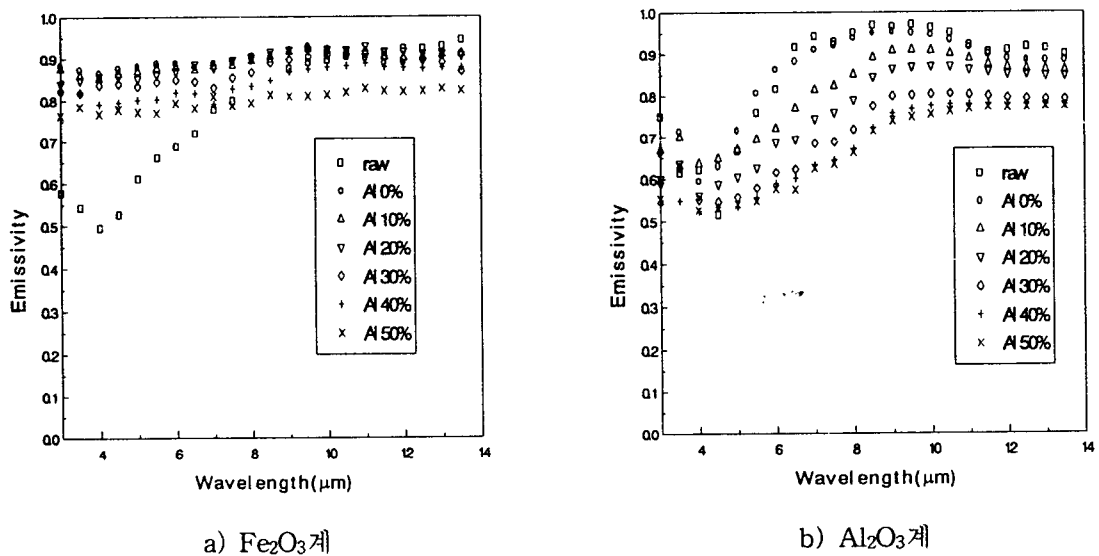


Fig. 2 Spectral emissivity of raw material and coating