

단열코팅의 적층방식에 따른 항온 내열특성 평가 (Evaluation of Isothermal Resistance Characteristic with Laminated Method of Thermal Barrier Coatings)

한 명 섭*, 김 대 영, 최 기 영
현대중공업(주) 산업기술연구소

1. 서 론

최근 자동차, 선박 및 항공기용 엔진의 고효율·고성능화 추세는 연소실 부품의 표면기능 향상을 요구하게 되었다. 특히 디젤엔진 부품에서 연소실 부품은 엔진의 연소과정에서 고온의 엔진 연소가스에 노출되어 충격적인 높은 압력과 연료에 포함되어 있는 유해원소(황, 바나듐)에 의한 부식 및 연소 열에 의한 침해가 심한 부품이다.

이와 같이 손상되기 쉬운 엔진 부품의 수명을 향상시키기 위해서는 부품의 표면에 내식성, 내마모성, 내열성을 가지는 ceramic 재료를 코팅함으로써 부품의 표면기능을 향상시킬 필요가 있다. Ceramic coating 방법으로는 plasma 용사에 의한 코팅방법이 주로 응용되고 있으나, 단열코팅층의 계면에서 쉽게 파괴가 발생하는 것이 문제점으로 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 내식성, 내열성이 우수한 NiCrAlY/8wt%Y₂O₃-ZrO₂ 단열코팅의 계면파괴를 방지하기 위하여 단열코팅의 적층방식(기존 two-layer 단열코팅과 gradient layer를 첨가한 gradient-layer 단열코팅) 및 코팅 두께 변화에 따른 항온 내열특성을 평가함으로써 박용 디젤엔진의 연소실 부품에 적용이 가능한 단열코팅 기술을 확립하고자 한다.

2. 실험 방법

기지재로 piston의 재질인 구상흑연주철(GGG 60)을 사용하여 환봉(∅25.4×25.4mm)형태로 가공하고, 먼저 알루미늄 grit를 사용하여 기지재 표면을 blasting을 실시한 후, 초음파 세척하여 시편으로 준비하였다. NiCrAlY분말을 METCO 9MB 용사장비를 사용하여 bond coating을 형성시키고 연속해서 ZrO₂-8wt%Y₂O₃의 ceramic coating을 균일하게 용사하여 적층하였다. 적층방식과 코팅 두께의 영향을 평가하기 위해 two-layer 단열코팅과 bond coating과 ceramic coating의 계면에 작용하는 열응력을 완화시킬 gradient layer를 첨가한 gradient-layer 단열코팅에 대해 단열코팅의 두께를 각각 0.4mm와 1.5mm로 하여 4종류의 항온 내열시험 시편을 제조하였다. 각 단열코팅에 대한 항온 내열특성은 800℃ 공기분위기에서 1, 10, 100, 500시간 가열하고 공냉시킨 뒤, 단열코팅의 접합강도를 ASTM C633-79에 의해 측정함으로써 평가하였다. 항온 내열시험 시편에 대한 미세조직 분석은 광학현미경 및 주사전자현미경(SEM)을 이용하였으며, 항온 내열시험 과정에서 발생된 생성물의 종류를 확인하기 위하여 EDS분석을 실시하였다.

3. 연구결과 및 고찰

단열코팅의 적층방식[two-layer($T_{1.5}$, $T_{0.4}$)와 gradient-layer($G_{1.5}$, $G_{0.4}$)] 및 코팅 두께의 변화에 따른 항온 내열특성을 평가한 결과는 Fig.1에 나타내었다. 단열코팅의 두께가 다른 경우에는 단열코팅의 적층방식에 상관없이 두께가 얇은 $T_{0.4}$, $G_{0.4}$ 의 단열코팅이 두꺼운 $T_{1.5}$, $G_{1.5}$ 의 단열코팅에 비해 초기의 접합강도가 우수하였다. 이같이 코팅 두께가 두꺼운 단열코팅의 접합강도가 낮은 것은 단열코팅의 계면에서 파단되지 않고, 접합력이 약한 ceramic coating의 내부에서 파단이 발생하였기 때문이다. 항온 내열시험을 장시간 실시한 결과 초기의 접합강도가 우수한 $G_{0.4}$ 는 접합강도의 변화를 거의 나타내지 않았으나, $T_{0.4}$ 의 경우에는 내열시험 시간이 경과함에 따라 접합강도가 점점 감소되었으며, 500시간 후에는 시험과정에서 단열코팅이 spalling 되어 접합강도를 측정할 수 없었다. 또한 적층방식에 따른 단열코팅의 접합강도는 two-layer 단열코팅에 비하여 gradient-layer 단열코팅이 우수함을 알 수 있는데, 이것은 gradient layer가 bond coating과 ceramic coating 계면에 작용하는 열응력을 완화시키고, bond coating의 산화를 지연시켰기 때문이다.

Fig.2는 단열코팅층의 두께가 얇은 gradient-layer 단열코팅($G_{0.4}$)에 대한 항온 내열시험시 유지시간의 변화에 따른 미세조직을 나타낸 것이다. Gradient layer의 두께가 매우 작아 구분되지 않으나, 항온 내열시험 시간이 변화함에 따라 bond coating 및 gradient layer가 산소되어 splat과 splat 사이의 산화줄무늬(oxide stringer)가 두꺼워지는 것을 볼 수 있으며, 또한 bond coating과 접촉된 기지재의 표면부에도 산화에 의해 산화층이 형성되는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

단열코팅의 적층방식 및 코팅 두께의 변화에 따른 ZrO_2 -8wt% Y_2O_3 단열코팅의 항온 내열특성에 관한 연구결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. gradient layer의 열응력 완화 및 산화지연 효과에 의해 gradient-layer 단열코팅이 two-layer 단열코팅에 비해 우수한 접합강도를 가진다.
2. 단열코팅의 두께가 증가할수록 ceramic coating 자체에서 파단이 발생하고 접합강도가 감소한다.
3. 코팅 두께가 얇은 gradient-layer 단열코팅이 보다 우수한 항온 내열특성을 나타낸다.

5. 참고문헌

1. Keichiro Shoji ; "Coatings of diesel engine components", 日本溶射學會誌, Vol.25, No.2, 47-52 (1988).
2. P.C.Novak ; "Development of thick thermal barrier coatings for diesel applications", Material & Manufacturing Processes, Vol.7, No.1, 15-30 (1992).

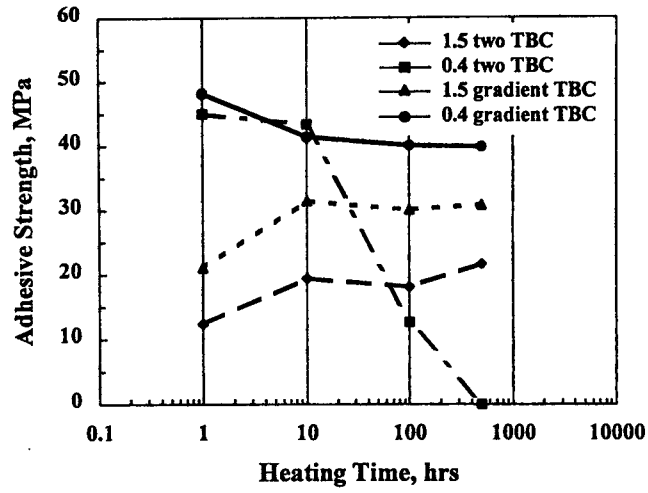


Fig.1 Adhesive strength of the various coating system as a function of heating time at 800°C.

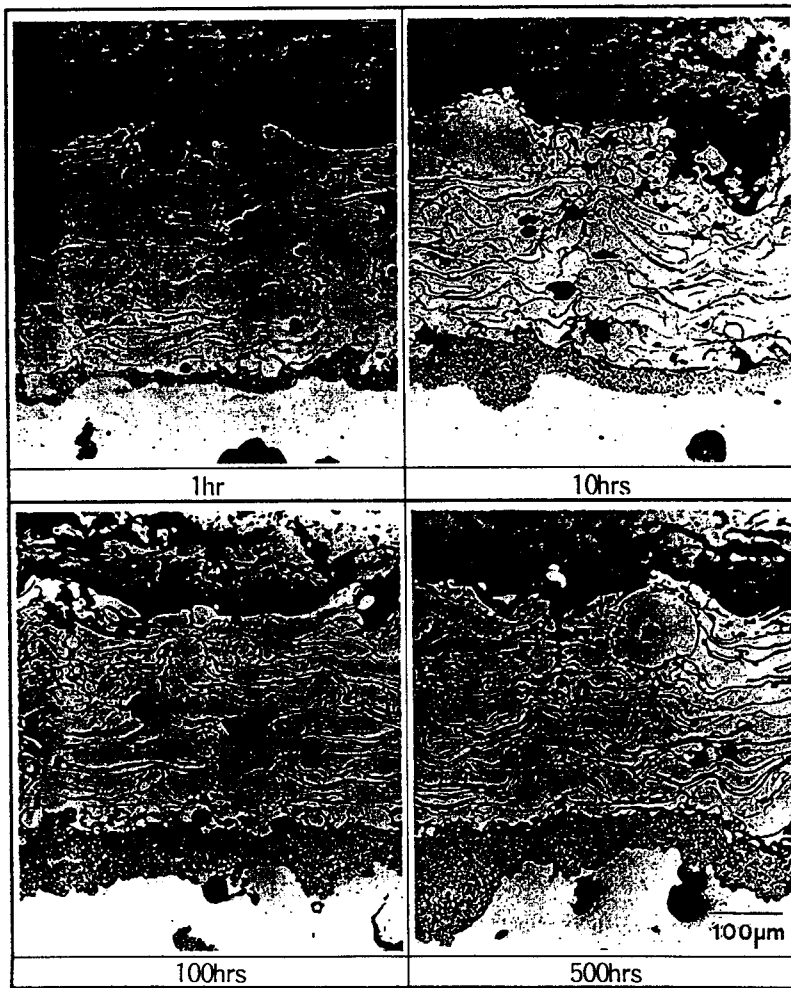


Fig.2 SEM micrographs of $G_{0.4}$ with the variation of heating time at 800°C