

## Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 부분안정화 지르코니아 단열코팅층의 항온내열특성에 관한 연구

### (A study on the isothermal heat resistant characteristic of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Stabilized Zirconia Thermal Barrier Coating layer)

한 명 섭\*, 김 대 영  
현대중공업(주) 산업기술연구소

M. S. Han, D. Y. Kim  
(Hyundai Industrial Research Institute, Hyundai Heavy Ind. Co., Ltd. )

#### 1. 서 론

산업기술이 고도화되고 다각화됨에 따라 발전용 가스터빈의 연소기 liner와 같은 고온부품의 사용환경은 고온화 및 극심한 부식분위기 등으로 점차로 열악해지고 있다. 이에따라 재료의 한계성을 극복하고 열기관의 효율 및 내구성을 증가시키기 위하여 초내열합금 개발, 냉각시스템 개발과 함께 단열성과 접착성이 우수하고 치밀한 표면피막을 형성시키는 단열코팅(Thermal Barrier Coating: TBC)기술이 개발되어 적용되고 있다.

초내열합금 재료에 금속 bond coating층과 ZrO<sub>2</sub>-8wt% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic의 2층 구조를 가지는 단열코팅을 적용하면 금속표면의 온도를 100~200℃ 낮춤으로써 금속재료의 사용가능 가스온도의 상승 및 내산화 수명의 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다.

단열코팅에서 요구되는 물성은 산화저항성, 낮은 열전도도, 기지금속과 유사한 열팽창계수, 미세조직의 열안정성, erosion 및 열충격 안정성, 조절된 기공률 등이며, 단열코팅기술을 확립하기 위해서는 용사조건에 따른 이들 물성치 중에서 산화저항성이나 열충격안정성 및 미세조직의 열안정성의 변화에 대한 이해가 필요하다.

본 연구에서는 APS(Air Plasma Spray)법을 이용하여 bond coating층과 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>산화물층으로 형성된 단열코팅의 열적 안정성에 미치는 항온열처리의 영향을 조사함으로써 단열코팅의 수명 향상을 위해 필요한 제조기술 확립에 기여하고자 하였다.

#### 2. 실험 방법

기지금속으로 INCO alloy HX를 선택하여 디스크(Ø25.4×20) 형태로 가공하고 기지재 표면을 산세 및 탈지작업을 행한 후, 알루미나 grit를 사용하여 blasting처리를 하였으며, 재차 탈지·

세척하여 최대용량이 80kW인 METCO 9MB 용사장비를 사용하여 0.15mm 두께로 MCrAlY(M=Co, Ni) bond coating을 용사하고, 용사변수를 변화시켜 0.3mm 두께로  $ZrO_2-8wt\% Y_2O_3$  ceramic coating층을 균일하게 용사하였다. 단열코팅층의 항온내열시험은 1000℃ 대기중에서 항온열처리 후, 단열코팅의 접합강도를 측정하여 항온내열특성을 평가하였다. 이때 단열코팅층의 접합강도는 ASTM C 633-79에 준하여 측정하였으며, 단열피복층의 미세조직(splat형태, 기공분포, 미세균열, 계면의 접합상태 등)은 광학현미경, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석하였으며, 항온열처리 전후의 ceramic층의 상변화는 X-선 회절(XRD)분석을 통하여 확인하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

APS법에 의한  $ZrO_2-8wt\% Y_2O_3$  ceramic coating층과 bond coating층과의 접합상태는 양호하였으며, coating층 내에는 많은 pore를 함유하고 있다. Ceramic coating내의 porosity는 단열효과를 증가시키고 열충격에 대한 저항성을 증가시키므로 10-15%의 porosity를 가질 때에 최적의 상태로 알려져 있다[1].

Fig 1은 열적안정성이 우수한 10-15%의 porosity를 가지는 MCrAlY/ $ZrO_2(8wt\% Y_2O_3)$  단열코팅에 대한 as-sprayed 시편 및 800, 900, 1000℃에서 100시간동안 항온열처리한 시편의 adhesive strength를 나타낸 것으로서 as-sprayed 시편은  $6.8kg/mm^2$  (66MPa)이상의 접합강도를 나타내었으며, 항온열처리후의 시편은 접합강도가 감소하여 열처리온도가 높을수록 접합강도가 낮아져 1000℃에서 항온열처리된 단열코팅인 경우에는  $5.62kg/mm^2$  (55 MPa)로 크게 감소한 것을 알 수 있다.

항온열처리된 단열코팅의 접합강도를 시험한 결과 파괴는 ceramic층 내에서 일어났는데 이는 Fig.2의 단면미세조직에서 관찰된 바와 같이 ceramic coating층내에 생성된 crack에 기인된 것을 알 수 있고, as-sprayed상태와는 달리 항온 열처리된 단열코팅의 ceramic coating층내의 crack은 열처리 온도가 증가할수록 crack의 형성이 정도가 심함을 알 수 있다. 또한 항온 열처리된 단열코팅의 경우에는 bond coating층과 ceramic coating층 사이에 Al의 선택적인 산화에 기인하여 계면에 산화피막이 생성되며, 열처리 온도가 높아질수록 산화피막의 두께가 증가함을 알 수 있으며, 이러한 산화는 bond coating/ceramic coating계면을 열화시키게 된다.

Fig 3은 ceramic coating층의 항온열처리에 따른 상분석을 조사한 결과로써 1000℃에서 100시간 열처리할 경우 as-sprayed 상태와 달리 단사정(monoclinic)이 소량 생성되었는데, 이러한 단사정의 생성은 부피팽창을 수반하여 코팅층내에 균열을 발생시킨다. 한편 단사정의 생성 기구는 2상구역(cubic+tetragonal)에서 열처리할 경우에 용사시 급냉에 의해 생성된 비평형 정방정  $t'-ZrO_2$ 가 일차적으로 평형  $t-ZrO_2$ 로 변태하고, 냉각과정에서  $t-ZrO_2$ 가 다시 변태하여 생성하는 것으로 알려져 있다[2].

#### 4. 결론

항온열처리시험을 실시한 단일코팅층의 접합강도는 열처리온도가 높을수록 감소하였고, 이는 bond coating층과 ceramic coating층 사이에 생성되는 산화피막과 ceramic층의 상변태에 기인한다.

#### 5. 참고문헌

1. Research and Development for Improved Thermal Barrier Coatings, Technical Proposal, TRW Contract, No. F33615-81-C-5063 (1981)
2. R.B.Miller, J.L.Smialek and R.G.Garlick : pp.241-253 in Advances in Ceramics. Vol 3, The American Ceramic Society, Columbus, OH (1981)

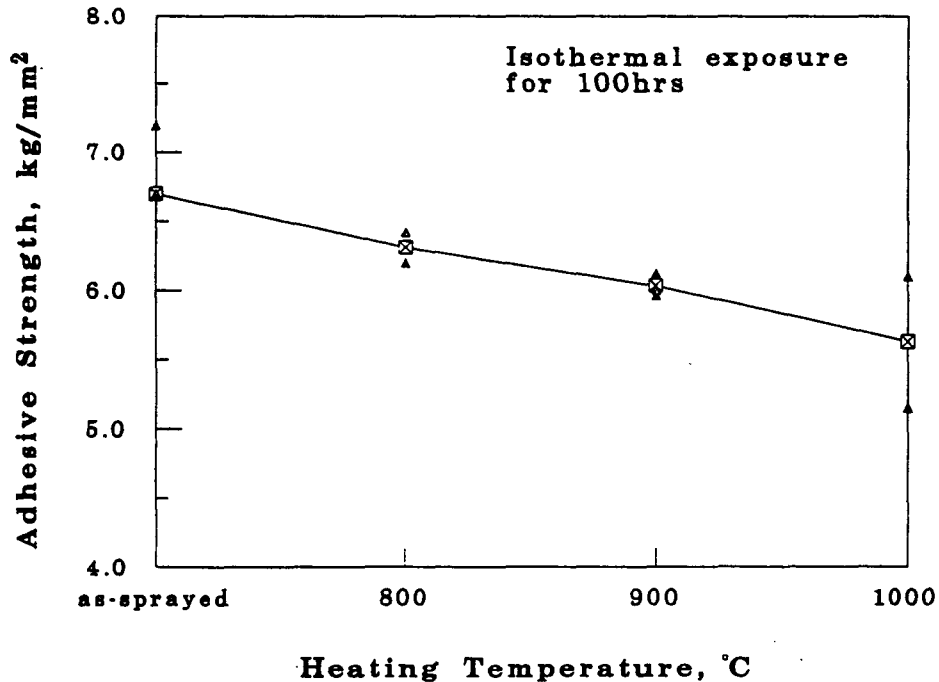


Fig.1 Adhesive strength of CoNiCrAlY/ZrO<sub>2</sub> coating system after isothermal exposure.

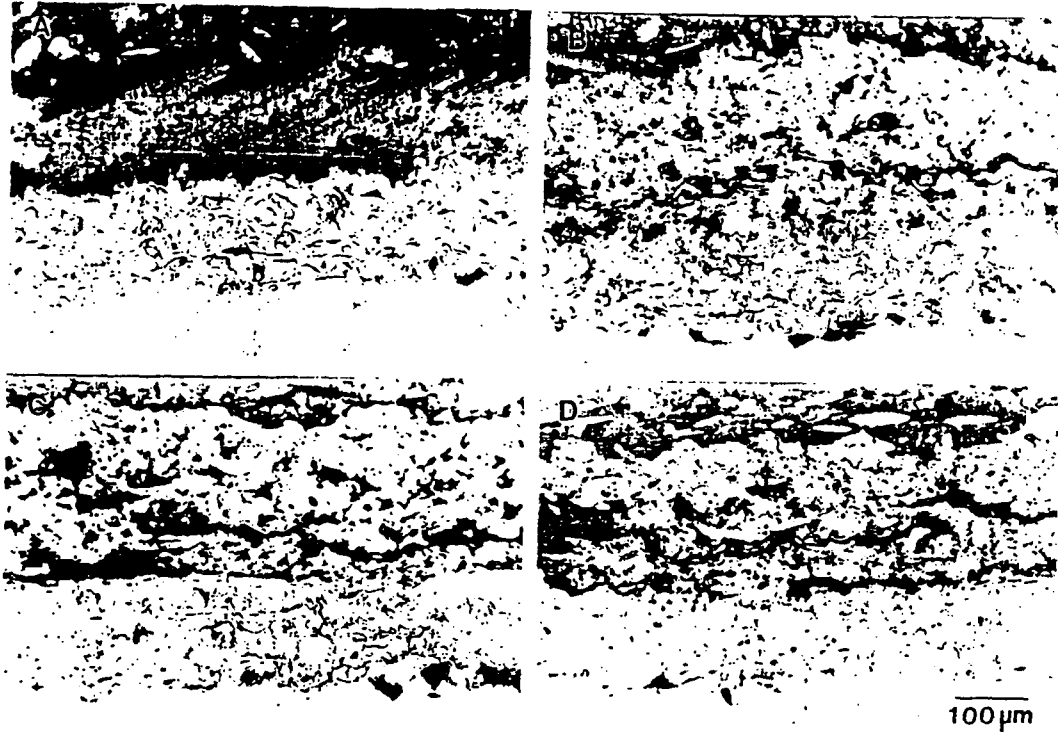


Fig.2 Optical micrographs of CoNiCrAlY/ZrO<sub>2</sub> coating system after isothermal exposure  
 A: as-sprayed      B: 800°C      C: 900°C      D: 1000°C

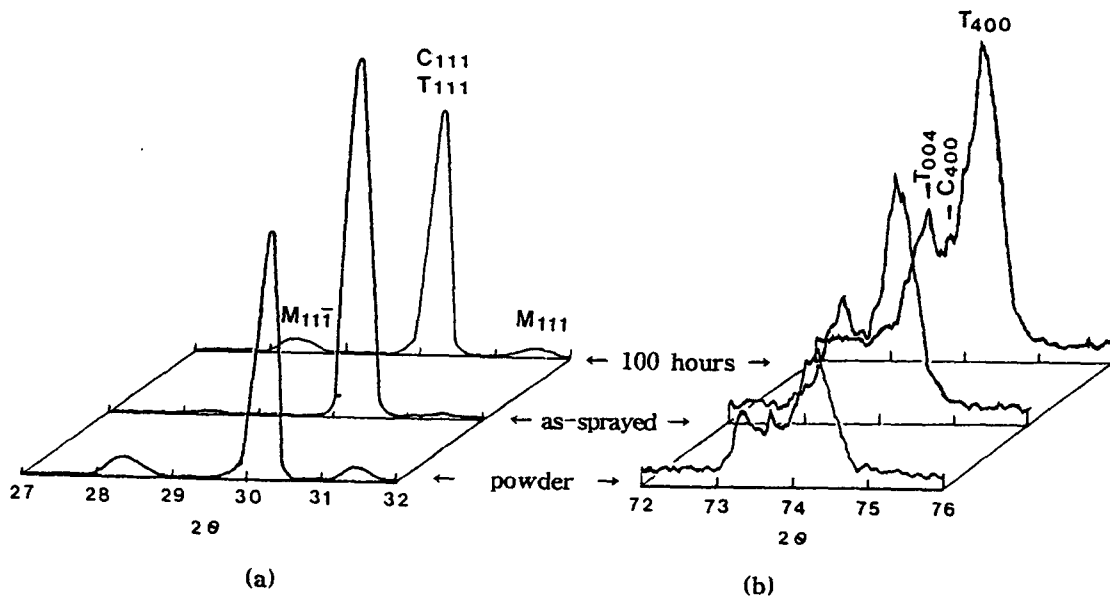


Fig.3 XRD pattern in the {111} and {400} regions for ZrO<sub>2</sub> powder, ZrO<sub>2</sub> ceramic coating of as-sprayed and after 100hrs isothermal test at 1000°C.  
 a) {111} region      b) {400} region