

열차폐코팅 변수에 따른 열충격에 대한 영향

The effect of thermal shock resistance for Thermal Barrier Coating according to Spray Parameters

*양성호¹, #이택운¹, 김상훈¹
 * S. H. Yang¹, #T. W. Lee(twlee@kps.co.kr)¹, S. H. Kim¹
¹한전 KPS GT 정비기술센터

Key words : Thermal Barrier Coating (TBC), Thermal Shock, CTE(Coefficient of Thermal Expansion), Air Plasma Spray(APS)

1. 서론

가스터빈의 고온부는 보통 1,000℃이상의 고온에서 작동하는데, 엔진의 열효율 향상과 연료소비율 감소, NOx 등 환경부하의 저감을 위해 고온화가 요구되면서 터빈입구온도(TIT)가 1,350℃이상으로 상승되고, 최근에는 선진국의 경우 1,500℃급 가스터빈 설비가 상용화 되어있는 상태이다. 이러한 가스터빈 운전온도의 상승은 부품에 적용되는 냉각기술과 코팅의 발달이 큰 역할을 하였다.

열차폐코팅은 산업용 가스터빈의 고온부품 수명 연장을 위하여 널리 사용되는 코팅이다. 열차폐 코팅의 사용을 위하여 고온에서 여러 형태의 연구가 지난 20 년 동안 지속적으로 진행되어 왔다.

열차폐코팅에서 열사이클링의 특성은 무엇보다 중요하다. 특히, 우리나라와 같이 기동정지가 잦은 환경에서 사용되는 코팅은 이러한 특성에 대한 연구가 매우 중요할 수밖에 없다. 열사이클링과 TMF(Thermo Mechanical Fatigue)는 코팅의 재료, 코팅방법 및 코팅변수에 따라 여러 특징을 나타내고 있다¹. 기존의 연구에 의하면 열차폐코팅에서 열차폐 기능의 3 가지 요소는 탑코팅, 본드코팅과 모재이며, 탑코팅은 6 ~ 8%의 Y₂O₃ 를 함유한 PSYZ(Partially Stabilized Zirconia Containing)가 가장 좋은 열충격특성을 나타내고 있다². 그 이유는 낮은 열전도도와 상대적으로 높은 열팽창계수 때문이다.

열차폐코팅에서 주된 문제점은 열사이클링 조건에서 일정시간을 경과하면 박리되는 현상이다. 이번 연구에서는 열충격시험 조건에서 코팅후 열처리에 따른 코팅의 박리영향에 대하여 실험을 실시하였다.

2. 실험내용

2.12 재료

열차폐코팅은 본도와 탑으로 구성되어 있고, 시편의 재질은 Nimonic 263 이다. Nimonic 263 은 니켈기지의 초합금으로 용접성과 성형성이 좋으며, 고온강도와 내식성이 좋아 가스터빈의 연소실부품 재료로 널리 사용되고 있다. 시편의 형상은 Fig. 1 과 같다. 탑코팅의 재질은 8% Y₂O₃ 의 Zirconia Powder 이며 형태는 HOSP, 크기는 -125 ~ +45 μm이다. Bond Coating Power 는 Ni22Cr10Al1.0Y 성분의 NiCrAlY 이며 형태는 Spheroidal, 크기는 -106 ~ +56 μm이다.

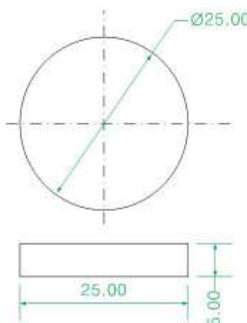


Fig. 1 Drawing of coating specimen

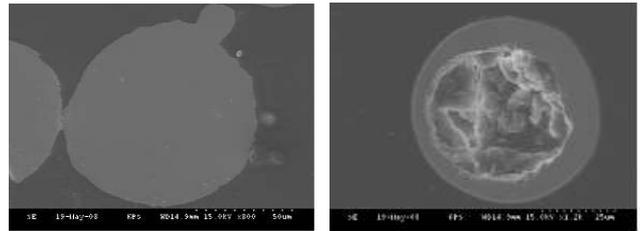


Fig. 2 Section view of bond(left) and Top powder(right) used by SEM

2.2. 코팅조건

본드와 탑코팅은 모두 APS 방법으로 코팅을 실시하였다. Table 1 에 대략적인 코팅조건을 기술하였다.

Table 1 Spraying parameters for bond and top coatings

	Bond	Top
Material	Ni22Cr10Al1.0Y	92ZrO ₂ 8Y ₂ O ₃
Coating Method	APS	APS
Primary Gas	N ₂	N ₂
Secondary Gas	H ₂	H ₂
Carrier Gas	Ar	Ar
Distance(mm)	200	175
Gun	9MB(Sulzer Metco)	9MB(Sulzer Metco)
Controller	9MC(Sulzer Metco)	9MC(Sulzer Metco)
Thickness(μm)	250 ~ 400	450 ~ 650

2.3. 열충격실험

열충격실험은 열처리 수행여부와 실험온도를 변화시켜 실시하였다. 실험장비는 Carbolite 사의 RHF 1600 장비를 사용하였으며, 실험온도는 1,100℃와 1,200℃를 사용하였다. 실험조건은 표 2 와 같다.

Table 2 Thermal shock test details

	Temperature (°C)	Holding Time (Min)	Cooling Method	Remarks
1	1,200℃	30	Water cool	Heat Treated*
2	1,200℃	30	Water cool	
3	1,100℃	30	Water cool	Heat Treated*
4	1,100℃	30	Water cool	

* Heat Treatment : 1,100℃/2hr

열충격시험의 온도는 열팽창계수를 측정하여 본드코팅과 탑코팅의 열팽창계수 차이가 가장 많은 온도대(1,100℃, 1,200℃)에서 실험을 실시하였다.

3. 실험결과

3.1. 열충격시험 결과

Table2 의 조건으로 열충격실험을 실시한 결과는 Table 3 과 같다. 열충격시험의 온도에 따른 열충격 실험 수명과 열처리여부에 따른 열충격 실험 수명을 비교한 결과 1,100℃

에서는 열처리 여부에 따른 열충격 실험의 수명이 명확하게 구분되지 않았으나, 1,200°C의 실험에서는 열처리 후 시편이 수명이 길게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 3은 실험후 시편 사진이다.

Table 3 Result of thermal shock test

	Test condition	Failure (cycle)	Remarks
1	1,100 °C/30min, Water cooling	21	Heat treated
2	1,100 °C/30min, Water cooling	63	
3	1,200 °C/30min, Water cooling	22	Heat treated
4	1,200 °C/30min, Water cooling	63	Edge spallation



Before thermal shock test



After thermal shock test(1,100 °C/30min, 21cycle)

Fig. 3 View of specimens

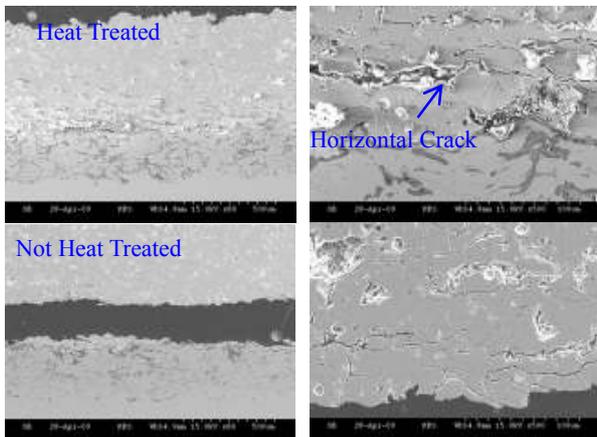


Fig. 4 SEM image after thermal shock test(1,100 °C)

Fig. 4 와 같이 SEM 을 통한 미세조직 관찰 결과 코팅의 파단위치는 TGO 층이 아닌 탑코팅의 아랫부분에서 파괴가 일어났으며, 열처리를 수행한 시편에서도 수평균열이 발견되었다. 이런 결과는 수평균열의 연결로 인해 코팅의 파괴가 일어나는 것으로 판단된다.

4. 결론

열차폐코팅에 대한 열충격시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 열충격에 대한 수명은 TGO 의 두께에 의한 영향보다는 본드와 탑코팅 사이의 열팽창계수의 차이에 의한 영향이 크다.
2. 열처리에 의한 본드코팅과 탑코팅의 열팽창에 의

한 응력의 감소는 본드와 모재사이의 확산에 의한 본드 코팅의 열팽창계수의 감소에 의한다.

3. 열처리 시편의 열충격 수명 증가는 파괴인성의 증가에 기인한 것으로 판단된다.³

후기

본 논문은 지식경제부 전력산업연구개발사업의 지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

1. A. Nusair Khan, J.Lu, "Manipulation of air plasma spraying parameters for the production of ceramic coatings", Journal of materials processing technology, Volume 209, issue 5, 2508-2514, 2009.
2. Stephan Stecura, "Optimization of the NiCrAl-Y/ZrO₂-Y₂O₃ Thermal Barrier System", NASA Technical Memorandum 86905.
3. A. Nusair Khan, J. Lu, H. Liao, "Heat treatment of thermal barrier coatings", Materials and engineering A 359, 129-136, 2003.