

가스터빈 블레이드에 적용되는 DVC-type 열차폐코팅 특성 평가 Estimation of Characteristics of DVC-type Thermal Barrier Coatings Applied to Gas Turbine Blade

*이동근¹, 신인환¹, 김용석¹, 구재민², #석창성²

*D. K. Lee¹, I. H. Shin¹, Y. S. Kim¹, J. M. Koo², #C. S. Seok(Seok@skku.edu)²

¹성균관대학교 대학원 기계공학과, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Gas Turbine, Thermal Stress, Crack, DVC, TBC

1. 서론

가스터빈 열차폐 코팅은 가스터빈 핵심 부품을 고온 화염으로부터 보호하고 부품의 표면온도를 낮추기 위해 적용되는데, MCrAlY 재료를 이용한 금속의 접합코팅(본드코팅)과 세라믹 재료를 이용한 최종코팅(탑코팅)으로 구성된다. 블레이드의 온도 감소는 세라믹 탑코팅 층에서 크게 발생하지만, 모재 위에 세라믹 코팅을 바로 적용하게 되면 접착 강도가 낮아서 쉽게 떨어질 수 있으므로 본드코팅을 적용하게 된다. 열차폐 코팅에 적용되는 탑코팅 방식 중 하나인 Dense Vertically Cracked 코팅은 인위적으로 코팅층 내부에 수직방향 균열을 삽입하여 열팽창 및 수축에 대한 저항을 감소시키는 것에 의하여 코팅의 수명을 증가시키고 있다.[1]

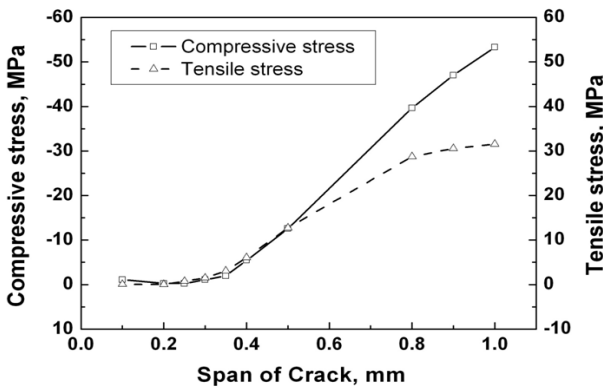


Fig. 1 Max stress of interface of top-bond coat[1]

Fig. 1은 이동근 등[1]이 유한요소법에 의해 수행한 수직균열의 간격에 대한 최대응력 해석의 결과값을 보여준다. x축은 균열과 균열 사이의 간격을 나타내며, y축은 최대응력을 나타낸다. 탑코팅-본드코팅 계면에서의 수직 방향 최대응력은 균열 간격이 좁아질수록 감소하여 균열 간격 0.2~0.3mm

사이에서 수렴하는 것을 알 수 있었다. 그들은 이 해석결과로부터 박리에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 계면에서의 수직방향 응력이 감소하기 때문에 열피로수명의 증가를 가져올 것이라 예측 하였다.[1]

본 연구에서는 이동근 등이 기 수행한 가스터빈 1단 블레이드에 적용되는 DVC 방식 탑코팅에 삽입된 균열 밀도에 따른 코팅층 응력 분포 및 최적 균열 밀도 도출에 대한 연구[1]를 기반으로 DVC-TBC에 삽입된 균열의 밀도별 열피로 시험을 수행하여 해석 결과와 비교·검증 하였다

2. 실험 장치 및 조건

본 연구에 사용된 시험편은 열피로시험에 널리 사용되는 코인형 시험편으로, 직경 25mm에 두께 3.75mm로 가공하였다. 모재는 상용 가스터빈 1단 블레이드에 사용되는 금속인 IN738LC를 적용하였으며, 본드코팅은 MCrAlY 재질에 LVPS[Low Vacuum Plasma Spray] 방식을 사용하여 약 250 μ m 두께로 코팅하였다. 본드코팅 후 $Y_2O_3-ZrO_2$ 성분의 분말을 분사하여 약 500 μ m 내외의 두께로 수직 크랙형 탑코팅을 하였다. 실험에는 균열밀도를 달리하여 제작된 총 8case의 시험편을 이용하였으며, 시험 전 AS-Sprayed 시험편 단면의 균열간격을 측정 후 평균값을 구하여 밀도를 계산하였다. 실험 온도별 각각의 균열 밀도는 Table 1과 같다.

Table 1 DVC-TBC Specimens Crack Density

Specimen number	1100 $^{\circ}$ C Test				1200 $^{\circ}$ C Test			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Crack density (ea/inch)	36	61	69	77	36	42	75	76

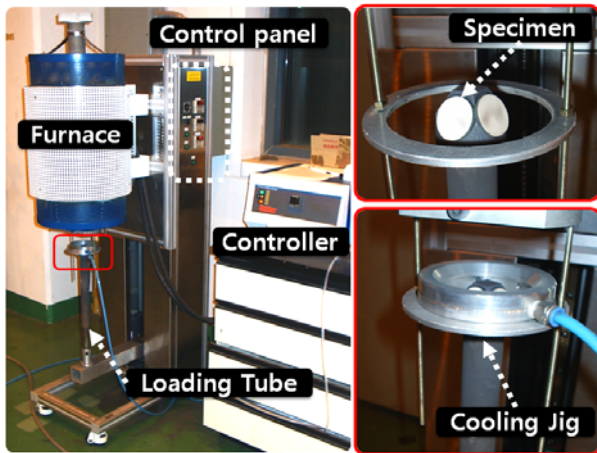


Fig. 2 Experimental Equipment

Fig. 2는 시험에 사용된 열피로시험 장치이다. 이 장치는 자동 이송장치에 의하여 시험편을 퍼니스 내외부로 수직 이동시킴으로써, 가열과 냉각이 되도록 제작되었으며, 냉각시 냉각 효율을 향상시키기 위하여 강제냉각을 위한 공랭 냉각 지그를 구성하였다. 본 연구에서의 열피로시험 조건은 일정온도로 15분 가열한 후 5분 동안 냉각되도록 하였다. 가열온도는 국내외의 코팅 열피로 관련 연구 [2]에서 주로 적용되는 1100°C와 1200°C 온도를 기준으로 진행하였으며, 모재로부터 코팅이 완전히 탈락되는 시점을 코팅 시편의 열피로수명으로 정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

1100°C와 1200°C에서 균열밀도가 다른 수직 크랙형 탑코팅 시편에 대한 열피로시험을 수행하였다. 실험결과로부터 탑코팅과 본드코팅 계면에서 코팅의 박리가 발생함을 확인할 수 있었으며, 코팅이 완전히 떨어져 나갈 때를 열피로수명으로 적용하였다. 8가지 Case에 대하여 균열 밀도와 수명 사이의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. x축은 탑코팅 내에 삽입된 균열 밀도를 나타내며 y축은 열피로수명을 나타낸다. 실험 결과 탑코팅 내에 삽입된 수직 방향 균열의 밀도가 높아질수록 시편의 열피로 수명이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 이동근 등[1]에 의해 기 수행된 열응력해석 결과와 유사한 결과로써 탑코팅 내에 삽입된 수직 방향 균열의 밀도가 높아질수록 시편의 열피로 수명이 증가하는 것을 알 수 있다.

이 같은 결과는 열피로 환경 하에서 코팅층이

팽창 및 수축할 때 발생하는 열응력을 삽입된 균열이 완화시켜주기 때문이라고 판단되나, 정확한 메커니즘 분석을 위해서는 실험 후 코팅 시편에 대한 단면 분석이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

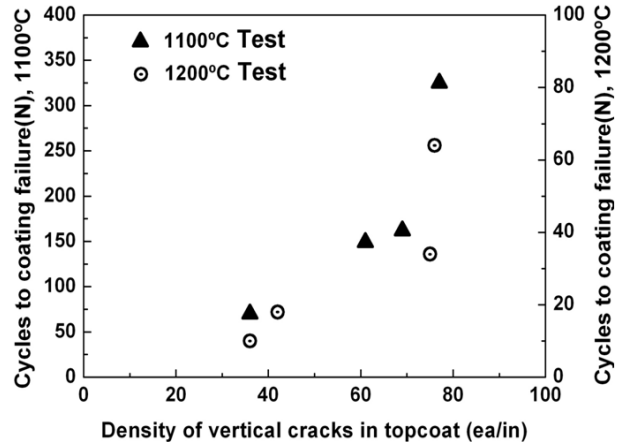


Fig. 3 Fatigue life-crack density diagram(N-ea/in)

4. 결론

1) 실험 결과 DVC코팅에 삽입된 수직 균열의 밀도가 커질수록 코팅 시험편의 열피로수명이 증가하는 것을 알 수 있다.

2) DVC코팅에 균열을 삽입하는 것은 열팽창 및 수축시 코팅층에 발생하는 응력을 완화시켜 코팅 수명을 증대시키는 효과가 있으나, 정확한 메커니즘 분석을 위해서는 코팅 시편에 대한 단면 분석이 추가적으로 필요할 것이라 판단된다.

후기

본 연구는 전력산업 원천기술개발사업과 한국에너지기술평가원의 지원으로 수행된 연구임. (2009T100200146)

참고문헌

- 이동근, 신인환, 석창성, 구재민, 이택운, 김범수, "가스터빈 블레이드에 적용되는 DVC-TBC에 대한 균열 영향 평가", 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, 815, 2010.
- 김대진, "가스터빈 블레이드용 플라즈마 용사 열차폐 코팅의 박리수명 평가에 관한 연구", 성균관대학교 박사학위 논문, 2009.
- U.S. Patent, US 5073433, "Thermal Barrier Coating For Substrates and Process for Producing It", 1991.