유한요소 해석을 이용한 가스터빈블레이드용 DVC-TBC 코팅의 균열깊이의 영향 평가

Estimation of Effect of Crack Depth of DVC-TBC Coating by FEM Analysis

***홍영준 [1], 이시영 [1], 김용석 [1], 이동근 [1], #석창성 [2], 구재민 [2]**

*Y. J. Hong[1], S. Y. Lee[1], Y. S. Lee[1], D. K. Lee[1], #C. S. SEOK(SEOK@skku.edu)[2], J. M. KOO[2]

[1]성균관대학교 기계공학부 대학원, [2]성균관대학교 기계공학부

Key words : Thermal Barrier Coating(TBC), Finite Element Analysis, Dense Vertically Crack(DVC)

1. 서론

열차폐 코팅의 기능은 외부 고온환경에서 발생하는 산화 및 열부식 등으로부터 모재를 보호하는 것이다. 또한 외부의 고온 환경으로부터 열을 차폐시켜 모재의 온도를 낮추는 것이 열차폐 코팅의 주요기능이다. 이와 같은 열차폐 코팅은 운전 중 박리에 의하여 수명이 단축되는 문제가 있는데, 열차폐코팅의 박리의 주요한 원인 중 하나가 고온환경에서의 탑코팅 층과 본드코팅 층, 모재와 코팅 층 계면의 열팽창계수 불일치에 의해 발생하는 열응력이다. 열차폐 코팅에 적용되는 DVC(Dense Vertically Cracked)코팅 방법은 인위적으로 코팅층 내부에 균열을 삽입[3]하여 열팽창 및 수축에 대한 저항을 감소시켜 코팅층의 수명을 증가시키는 것이다. 본 연구에서는 가스터빈 1 단 블레이드 의 탑코팅 내부에 적용되고 있는 수직균열의 깊이 변화에 따른 탑코팅과 본드코팅층의 계면에서 열응력이 미치는 영향을 알아보고자 한다.

2. Finite Element Analysis

2.1 유한요소해석모델 및 경계조건

열차폐코팅 시스템에서 탑코팅 내부의 수직균열의 깊이가 코팅내부의 열응력 발생에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Fig. 1 과 같이 모델링하였는데, 무한 반복조건을 주기 위하여 모델의 양측면에 변형 후에도 직선성을 유지하도록 커플링조건을 부여하였다. 수직균열을 포함한 탑코팅, 본드코팅, 초내열합금모재 3 개의 층[2]을 2 차원으로 모델링하였고, Y 축 커플링 조건을 주었다. 모재의 두께는 3㎜, 본드코팅층의 두께는 0.25㎜, 탑코팅의 두께는 0.5㎜ 로 각각 부여하여 모델링 하였고, 해석은 상용 FEM 프로그램인 ABAQUS 6.9-1 버전을 사용하여 해석을 수행하였다.

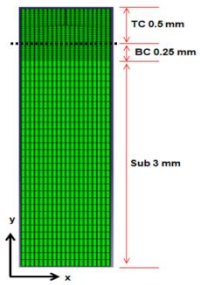

Fig. 1 Analysis model of DVC-TBC system

Table 1 은 해석에 적용된 물성치로서, 탑코팅, 본드코팅, 모재에 따라 각각 적용하였다.

Table 1 Properties of coating materials [1]

	Top Coating	Bond Coating	Substrate
Elastic Modulus (GPa)	53	156	225
Poisson's Ratio	0.25	0.27	0.27
Density[kg/m^3]	6,037	7,700	7,860
Specific Heat [j/kg℃]	500	501	456

해석 모델 내부의 열구배를 만들기 위하여 열전달해석에 사용한 가열 조건은 1100℃로 탑코팅표면에 가열하였고, 110℃ 로 모재의 하단 표면에 부여하였다.

2.2 열전달 및 열응력 해석

DVC 코팅 탑코팅층의 균열 깊이에 따른 열응력 분포 및 경향을 살펴보기 위해 2D 모델링 하였으며, 탑코팅층 두께 비율의 50 ~ 90%에 해당하는 균열을 삽입한 후 열전달해석을 수행하여 모델내의 열분포를 획득한 후 열전달해석의 결과를 열응력해석의 input data 로 사용하여 모델 내에 발생하는 열응력분포를 획득하였다.

2.3 해석 결과

Fig. 2 는 균열깊이의 변화에 따른 탑코팅과 본드코팅 계면에서 계면에 수평인 방향의 응력 σ_{xx} 의 변화를 나타낸 그림이다. Figs. 3~4 와 같이 탑코팅 내부의 수직균열의 깊이가 증가수록 탑코팅과 본드코팅층간 계면에서의 절대값이 최대인 수평방향의 압축응력(σ_{xx})의 크기가 균열깊이 50%일 때 -375 MPa 에서 80%일 때 -375.6 MPa 로 거의 일정한 값을 나타내다가 90%일 때 -396 MPa 로 증가하는 경향을 보였다.

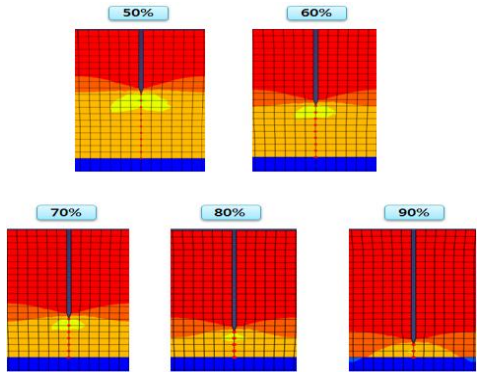

Fig. 2 σ_{xx} according to crack depth changes (Depth 50~90%)

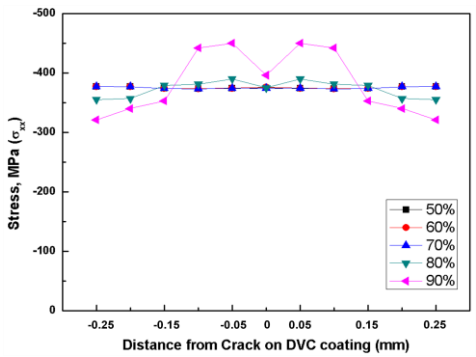

Fig. 3 σ_{xx} according to crack depth changes (Depth 50~90%)

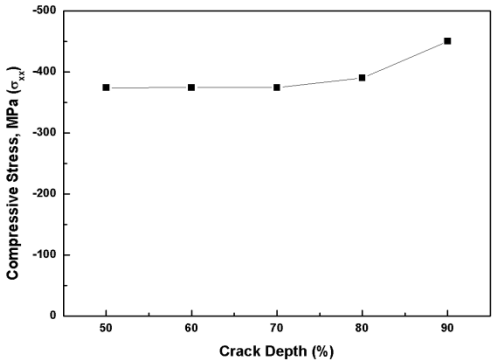

Fig. 4 Maximum absolute value of σ xx according to variations of crack depth

3. 결론

본 연구에서는 열차폐코팅에 적용되는 DVC-TBC 코팅에서 유한요소해석을 통하여 균열깊이에 따른 영향을 알아보고자 하였다. 해석결과로부터 계면에서의 절대값이 최대인 계면에 수평인 방향의 압축응력이 균열 깊이가 50~80%인 범위에서는 응력값이 일정함을 유지하다가 균열깊이가 90%일 때 증가하는 경향을 보였다.

후기

본 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(no. 2011-0020024 와 2012043624)

참고문헌

1. D.S.Almeida, C.R.M.Silva, M.C.A.Nono, C.A.A Cairo., 2007, "Thermal conductivity investigation of zirconia co-doped with yttria and niobia EB-PVD TBCs", Materials Science and Engineering A443, pp. 60~65.
2. U.S Patent, US 6730413 B2' "Thermal barier coating," May 4, 2004.
3. U.S Patent, US 6047593, "Method of protecting gas turbine combustor components against water erosion and hot corression," April 11, 2000