

# DVC 열차폐 코팅에서 균열삽입에 의한 영향 평가

## Evaluation on influence of the inserted cracks in DVC thermal barrier coating

\*김성혁<sup>1</sup>, 이동근<sup>1</sup>, #석창성<sup>2</sup>, 구재민<sup>2</sup>

\*S. H. Kim<sup>1</sup>, D. K. Lee<sup>1</sup>, #C. S. Seok(Seok@skku.edu)<sup>2</sup>, J. M. Koo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>성균관대학교 기계공학부

Key words : DVC, Crack influence, Thermal barrier coating

### 1. 서론

열차폐 코팅은 가스터빈의 블레이드가 높은 온도에 노출되는 환경에서 모재의 온도를 낮추는 것에 그 목적이 있다. 따라서 열차폐 코팅의 성능은 탑 코팅과 모재 사이의 온도차로 결정된다<sup>[1]</sup>. 그러나, 열차폐코팅의 경우 금속인 모재와 세라믹인 탑 코팅간의 열팽창계수 차이로 인해 층 사이에 높은 응력이 발생하여 박리 가능성이 높으므로<sup>[2]</sup> 완충역할로서 모재와 같은 금속재료인 본드 코팅층을 둔다.

DVC(Dense Vertically Cracked) 코팅은 열차폐 코팅의 한 방법으로써 일반적인 열차폐 코팅과는 달리, 탑 코팅층 내에 인위적인 세로방향의 균열을 삽입하는 코팅법이다. 이 균열은 코팅층이 열피로를 받을 때 온도변화에 따른 팽창 및 수축에 따른 영향을 완화하여 코팅의 수명을 증가시키는 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다<sup>[3]</sup>.

본 연구에서는 DVC 코팅의 탑 코팅층 내의 균열의 길이와 균열 사이의 간격이 열응력에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

본 연구에서는 ABAQUS 10.1를 사용하여 해석을 수행하였다. Fig.1은 해석에 사용된 대칭을 고려한 1/2모델로서 모재는 3mm, 본드 코팅은 0.25mm, 탑 코팅은 0.5mm의 두께를 주었으며, 좌측은 커플링 조건을 사용하여 직선성을 부여하여 반복되는 셀 구조가 되게 하였다. 또한 우측의 탑 코팅층에 수직균열을 탑 코팅두께에 대하여 10%~90%까지 삽입하였으며 균열 외의 부분은 대칭조건을 주었다. 또한 균열간격의 영향을 해석하기 위하여 균열간격이 0.2mm, 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm, 1.0mm가 되도록 하였다.

본 연구는 균열에 의한 영향을 평가하기 위한 것이므로 탑 코팅 표면과 기저 밑면에 각각 1100°C 와 110°C를 주어 먼저 열전달 해석을 수행한 후 열응력 해석을 수행하였다.

### 2.2 결과

Fig.2는 균열길이의 변화에 따른 계면에서의 응력을 나타낸 그림으로써 대부분의 응력이 계면에 수직방향의 균열길이가 증가함에 따라 응력이

## 2. DVC코팅에서의 열응력해석

### 2.1 모델 및 해석

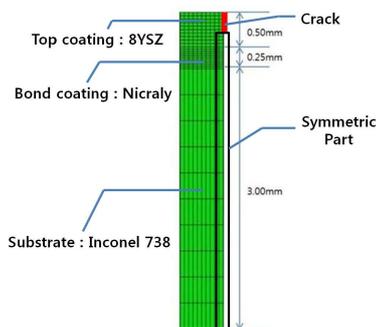


Fig.1 2D modeling

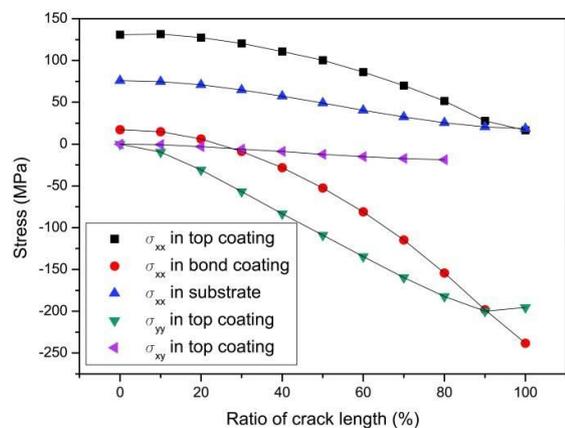


Fig.2. Effect of the crack length on the thermal stress of each coating part

감소하는 성향을 보인다. 그 중 탑 코팅의 계면에서 계면에 평행인 x방향의 응력 감소가 가장 크게 나타나고 있는데, 균열길이가 탑 코팅 두께의 10%인 경우에 균열이 없는 경우보다 약간 증가하였다가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 수직균열을 삽입함에 따라 계면에서의 열응력이 감소하여 내구성을 증가시킬 수 있다.

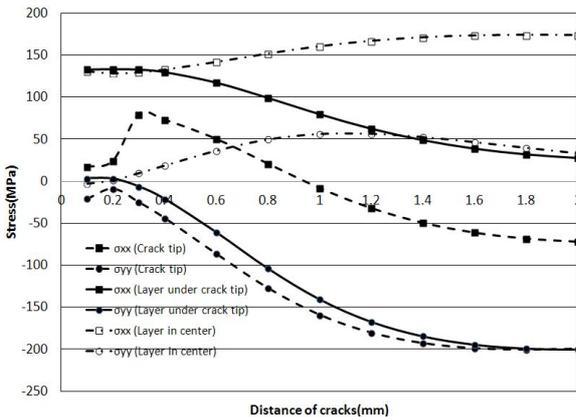


Fig.3 Thermal stress by distance of between cracks

Fig.3은 균열간격의 변화에 따른 열응력의 변화를 나타낸 결과로서 전단응력은 크기가 작기 때문에 무시하였다. 이 결과로부터 균열로부터 가장 먼 거리에 있는 왼쪽 경계의 탑 코팅 계면에서 계면에 수평인 방향, 즉 x방향응력이 가장 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 균열이 없는 경우의 탑 코팅 계면에서 계면에 수평인 방향의 응력과 균열이 탑 코팅 두께의 90%인 경우에 균열로부터 가장 먼 거리에 있는 계면에서의 계면에 수평인 방향의 응력을 나타낸 그림이다. 균열이 없는 경우 탑 코팅 계면에서 계면에 수평인 방향의 응력은 153.8MPa로 나타났

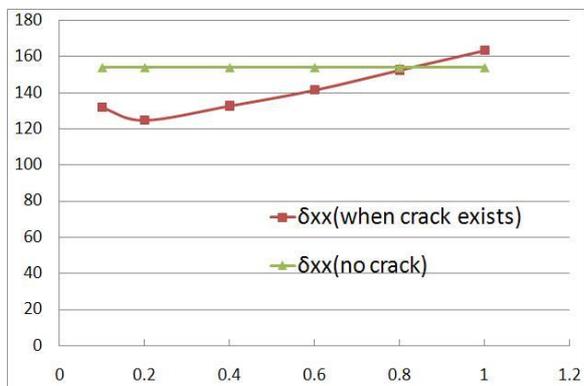


Fig.4 Comparison of thermal stress due to the presence or absence of cracks

다. 이에 비하여 균열간격이 0.83mm보다 넓은 경우에는 수직균열이 없는 경우보다 오히려 더 큰 응력이 발생하여 박리의 가능성이 증가하는 것으로 판단할 수 있으며, 0.2~0.3mm간격의 경우 계면에서의 계면에 평행인 방향의 응력이 최소가 됨으로써 박리의 가능성이 최소가 되는 것으로 나타났다. 이 균열간격은 최적의 균열밀도가 75~100ea/inch라고 제시한 특허<sup>[4]</sup>와 일치하는 결과임을 알 수 있다.

### 3. 결론

1. 수직균열의 길이가 길수록 대부분의 응력이 감소하는데 특히 가장 높은 응력인 균열로부터 가장 먼 거리에 있는 왼쪽 경계의 계면에서 계면에 수평인 방향의 응력 감소가 제일 크다. 따라서 수직균열의 길이가 길수록 박리의 가능성이 낮다.
2. 균열 사이의 간격은 일정 거리 이상이 되면 없는 것만 못하고, 간격이 0.2~0.3mm일 때 박리에 핵심적인 역할을 하는 계면 열응력이 최소가 됨을 확인하였다.

### 후기

본 논문은 정부의 재원(교육과학기술부)으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0020024 and 2012R1A1A2043624)

### 참고문헌

1. W. J. Brindley, R. A. Miller, "Thermal barrier coating evaluation needs", NASA Technical Memorandum 103708, 1990
2. 김대진, "가스터빈 블레이드용 플라즈마 용사 열차폐 코팅의 박리수명 평가에 관한 연구", 성균관대학교 박사학위 논문, 2009
3. 이동근, "열차폐 코팅의 삽입 균열에 의한 내부응력 특성 및 수명 영향 평가", 성균관대학교 석사학위 논문, 2010
4. U.S. Patent, US 5073433, "Thermal Barrier Coating For Substrates and Process for Producing It", 1991