

# 中空形狀의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>세라믹/鋼 接合部の 熱應力解析에 관한 研究

한국해양대학교 대학원 \* 이 해 순  
한국해양대학교 대학원 김 석 주  
한국해양대학교 김 영 식

## 1. 서언

최근 과학기술의 급속한 발전에 따라 내열성, 내식성, 절연성 및 고주파 특성 등의 관점에서 세라믹과 금속의 접합기술이 절실하게 요구되고 있는 실정이다. 특히, 진공관과 같은 管 形상의 부품에 있어서는 中空形狀의 세라믹과 금속의 접합기술의 확립이 필요로 되고 있다. 그러나 세라믹과 금속과 같은 이종재료의 접합부에서는 서로 상이한 물리적 성질, 특히 열팽창계수의 차이로 인하여 접합후 냉각과정동안 熱應力이 발생하게 된다. 中空形狀의 세라믹과 금속을 접합하였을 때에는 반경방향의 수축차이와 접합체 살두께의 수축량에 차이가 생기게 되고 이 수축량의 차이로 인해 접합체에 熱應力이 발생하게 되어, 이는 상대적으로 인성이 낮은 세라믹 내부에 균열을 발생시키는 등 접합강도의 현저한 저하를 초래하게 된다. 또한 형태와 구조가 대형화 됨에 따라 熱應力은 과도하게 발생하게 되는데, 이러한 熱應力의 저감을 위해서는 접합부의 형상변화가 필수적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 열탄성 유한요소 해석기법을 이용하여 中空形狀의 접합체에 대해서 형상변화에 따른 熱應力의 변화를 고찰하였다.

## 2. 해석방법

해석은 8절점 Isoparametric 요소를 사용하여 中空形狀의 접합체에 대하여 축대칭 해석을 실시하였으며, 해석 대상으로 한 전체온도 구간은 800 K로부터 300 K까지로 하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 해석대상으로 한 中空형상의 세라믹/금속 접합부의 형상을 보인다. 해석은 鋼/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/鋼 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/鋼/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 두 경우에 대해 행하고, 그 결과를 비교, 고찰하였다.

Table 1은 해석대상으로 한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>세라믹과 鋼의 물리적 성질을 나타내고 있다.

## 3. 해석결과 및 고찰

Fig. 2(a)는 Fig. 1(a)와 같이 鋼/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/鋼의 형상으로 접합하였을 때, 접합체 바깥쪽 표면부분에서 발생하는 축방향 응력성분( $\sigma_z$ )의 변화를 접합체의 중앙으로부터 거리변화에 따라 나타내고 있다. Fig. 2(b)는 세라믹 축 계면에 있어서의 축방향 응력 성분( $\sigma_z$ ), 반경방향 응력 성분( $\sigma_r$ ), 전단응력 성분( $\tau_{rz}$ )의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 접합부의 접합강도에 가장 큰 영향을 미치는 축방향 응력성분( $\sigma_z$ )의 최대치는 접합체의 바깥쪽 표면 부근의 세라믹축 계면부근이고, 접합체의 안쪽부근에도 인장응력을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3(a)는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 형상으로 접합하였을 때, 접합체 안쪽 표면부분에서 발생하는 축방향 응력성분( $\sigma_z$ )의 변화를 접합체의 중앙으로부터 거리변화에 따라 나타내고 있다. Fig. 3(b)는 세라믹 축 계면에 있어서의 축방향 응력성분( $\sigma_z$ ), 반경방향 응력 성분( $\sigma_r$ ), 전단응력 성분( $\tau_{rz}$ )의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 접합부의 접합강도에 가장 큰 영향을 미치는 축방향 응력성분( $\sigma_z$ )의 최대치는 강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강의 경우와는 반대로 접합체의 안쪽 표면 부근의 세라믹축 계면부근이고, 접합체의 바깥쪽 부근에도 인장응력을 받고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

중공형상의 강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강 접합의 경우와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 접합의 경우에 대해 열응력 해석을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강의 형상보다는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 형상으로 접합을 했을 때 熱應力이 감소한다.
2. 강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강 접합의 경우에는 중공관의 바깥쪽 세라믹 계면에서 최대인장응력이 발생하고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 접합의 경우에는 중공관의 안쪽 세라믹 계면에서 최대인장응력이 발생한다.
3. 강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강, 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/강/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 모두 접합체의 세라믹축 계면부근에서는 안쪽 및 바깥쪽 표면에서 인장응력이 발생한다.

Table 1 Mechanical properties of materials

Materials	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SS41
Young's modulus (MPa)	382000	210000
Poission's ratio	0.26	0.33
Thermal expansion coef. (1/K)	$7.9 \times 10^{-6}$	$10.8 \times 10^{-6}$

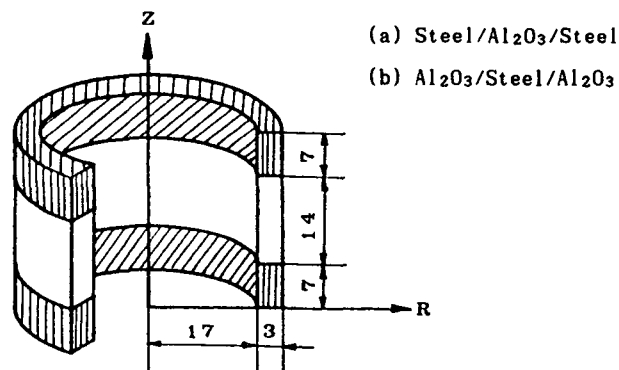
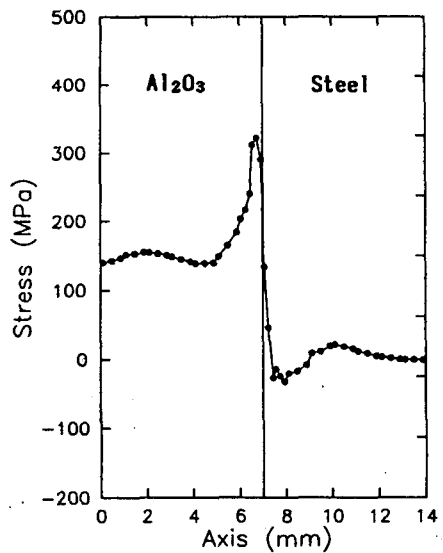
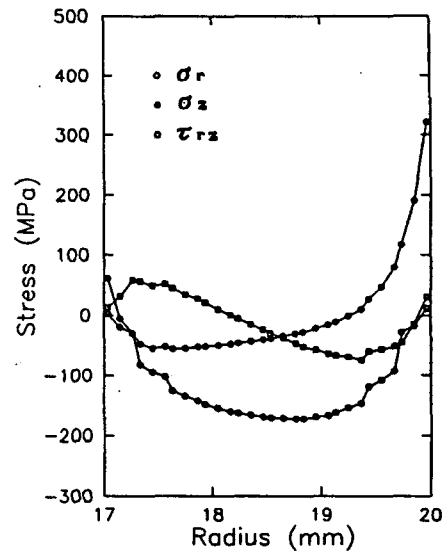


Fig.1 The shape of Ceramic/Steel joint

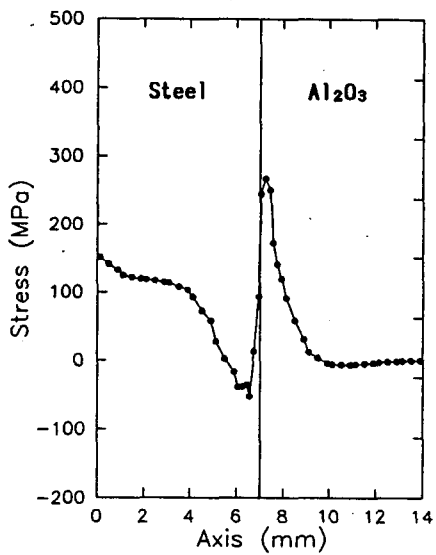


(a)  $\sigma_z$  on the outer surface

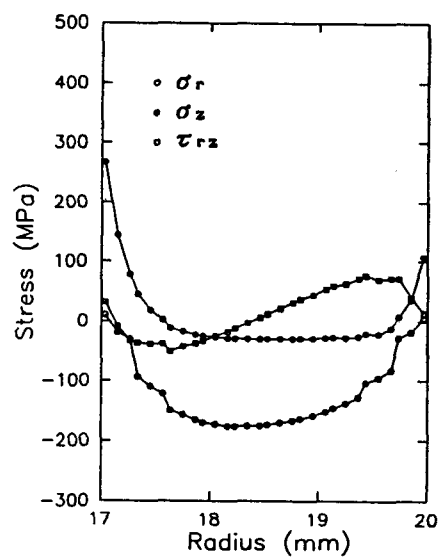


(b) Stress distributions in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the direction of radius

Fig.2 Stress distribution in the joint of Steel/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Steel



(a)  $\sigma_z$  on the inner surface



(b) Stress distributions in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the direction of radius

Fig.3 Stress distribution in the joint of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Steel/ $\text{Al}_2\text{O}_3$