

세라믹/金屬接合部の 應力特異性에 미치는 接合部 形狀의 영향

* 이해순 김석주 조상명 김영식 (한국해양대학교)

1. 서 언

최근 세라믹과 금속과 같은 이종재료의 접합체가 크게 주목을 받고 있다. 그러나 세라믹과 금속과 같은 이종재료의 접합시에는 서로 다른 물리적 특성의 차이에 기인하여 접합체의 계면단부에서는 응력의 특이성이 나타나게 된다. 이러한 응력특이성은 접합부 강도의 현저한 저하를 초래한다. 따라서 접합부의 강도 향상을 위해서는 이러한 계면단부에서의 응력의 특이성을 소실시키는 것이 필수적이라 할 수 있다. 종래는 주로 접합되는 재료가 각각 90°인 경우를 중심으로 접합해야 할 재료를 적당히 선정하거나, 두 재료 사이에 중간적 성질을 갖는 Insert재를 넣어 특이성을 소실시키는 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 그러나 재료특성이 주어졌을 때 어떠한 기하학적 조건이 응력의 특이성을 소실시키는가에 대한 연구는 거의 없는 상황이다. 본 연구에서는 고유함수 전개법을 이용한 이론해석 및 FEM해석을 실시하여 응력의 특이성을 소실시키기 위한 접합계면단부의 기하학적 형상에 대하여 조사하였다.

2. 고유함수전개법을 이용한 응력특이성 소실 조건

이종재료의 접합계면단부에서의 응력특이성은 접합체의 형상과 재료정수에 의존하는 특이성으로 고유함수전개법으로 계산 할 수 있다. 또한 Airy응력함수에 기초한 특성방정식으로부터 접합부의 기하학적 형상변화에 따른 특이성의 소실조건을 구할 수 있다.

(1) $\theta_1 + \theta_2 = 180^\circ$ 인 경우

$$\theta_1 = \sin^{-1}[\sqrt{\alpha/2(\alpha - \beta)}], \quad 2\alpha(\theta_1 \cos \theta_1 - \sin \theta_1) - \pi(1 + \alpha)\cos \theta_1 = 0$$

(2) $\theta_2 = 90^\circ$ 인 경우

$$2\sin \theta_1(\theta_1 \cos \theta_1 - \sin \theta_1)(1 - \alpha)(1 - 4\beta - 1) \\ = [\pi \sin \theta_1 \cos \theta_1(1 - \alpha) + 2(1 + \alpha) + 8\sin^2 \theta_1](1 + \alpha)$$

여기에서 α, β 는 Dunders composite parameters이다.

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 1은 접합체의 기하학적 형상을 나타내고 있고, Fig. 2는 FEM해석에 사용한 요소분할 상태를 나타내고 있다. 해석에 사용한 프로그램은 8절점 Isoparametric 열탄성 프로그램으로 평면응력을 가정하여 계산하였다. 총절점수는 1825개, 총요소수는 576개, 최소크기는 0.001mm이고 온도구간은 500K로 하였다. Table 1은 고유함수 전개법에 기초한 이론해석상의 특이성 소실 조건을 나타내고 있다. Fig. 3은 $E_2/E_1=10$ 이고, $\theta_2=90^\circ$ 인 경우 θ_1 의 변화에 대한 잔류응력분포의 FEM해석 결과를 나타내고 있다. 이 경우 특이성이 소실되는 이론해석상의 θ_1 은 115° 이며, FEM해석 결과에 의해서도 115° 부근에서 응력의 특이성은 소실하게 된다. 그러나 계면단부 전체적으로 높은 인장잔류응력을 나타내고 있기 때문에 실용상 그다지 큰 의미는 갖지 못한다. Fig. 4(a)는 세라믹/금속접합체에 있어서 세라믹의 端部각도를 90° 로 고정시키고, 금속측의 端部각도의 변화에 대한 잔류응력분포의 FEM해석결과를 나타낸 것이다. Fig. 4(b)는 세라믹/금속 접합체의 계면단부각도를 $180^\circ (= \theta_1 + \theta_2)$ 로 고정시키고 두 재료의 端部각도의 변화에 대한 잔류응력분포의 FEM 해석결과를 나타낸 것이다. 이 경우 이론해석상의 특이성 소실 각도는 Table 1에 나타난 바와 같이 세라믹측의 단부각도가 $50.4 \sim 80^\circ$ 이나, FEM해석결과에 의하면 세라믹측의 端部각도가 60° 일때 계면에서 잔류응력은 인장에서 압축으로 변하게 된다.

4. 결론

이종재 접합부의 계면단부에서 생기는 응력의 특이성을 소실시키기 위해 고유함수전개법에 기초한 이론해석 및 FEM에 의한 시리즈 해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고유함수전개법에 기초한 해석 결과와 FEM해석을 한 결과가 매우 잘 일치하는 것을 알았다.
- (2) 세라믹과 금속의 접합에 있어서는 세라믹의 각도를 90° 로 고정시킨 경우에는 계면단부의 응력특이성의 소실은 실용상 그다지 큰 의미를 갖지 못했다.
- (3) 세라믹/금속 접합에 있어서 계면단부에서 응력의 특이성이 소실하는 세라믹측의 각도는 50~60° , 금속측의 각도는 120~130° 이다.
- (4) 세라믹 금속 접합에 있어서 계면단부의 특이성을 소실시키고 인장잔류응력을 저감시키기 위해서는 두 재료 모두 접합계면단부의 기하학적 형상에 변화를 주어야 한다.

Table 1 Disappearance conditions of Stress Singularity by Theoretical Analysis

	Elastic modulus (kg/mm ²)		Poisson's ratio	Thermal expansion coeff. (×10 ⁻⁶)	특이성 소실 각도(θ ₁)
	Mat. 1	Mat. 2			
θ ₂ = 90	Mat. 1	1,000	0.30	2.0	115°
	Mat. 2	10,000	0.30	1.0	
θ ₂ = 90	Mat. 1	21,000	0.33	10.8	95.4°
	Mat. 2	38,200	0.26	7.9	
θ ₁ +θ ₂ =180	Mat. 1	21,000	0.33	10.8	50.4~80°
	Mat. 2	38,200	0.26	7.9	

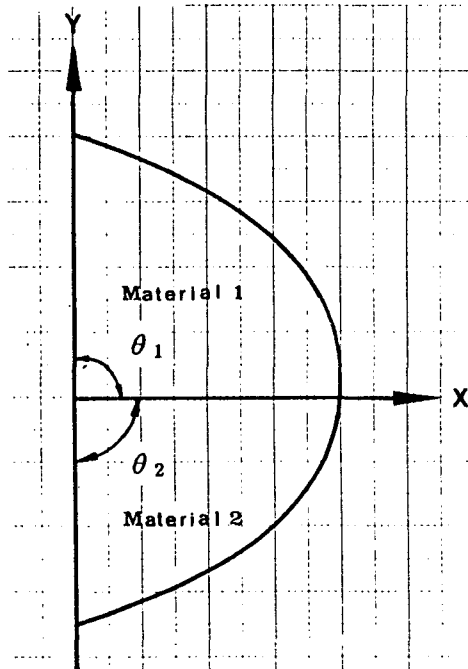


Fig. 1 Geometrical Shape of Dissimilar Joint

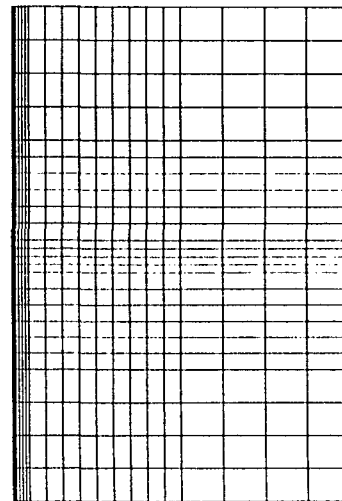


Fig. 2 Mesh division of FEM

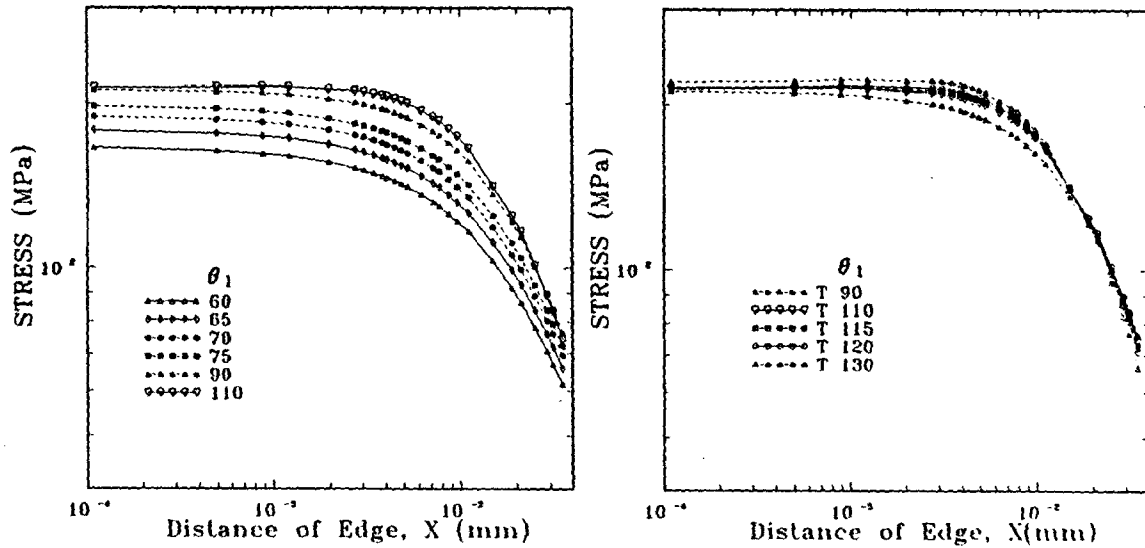
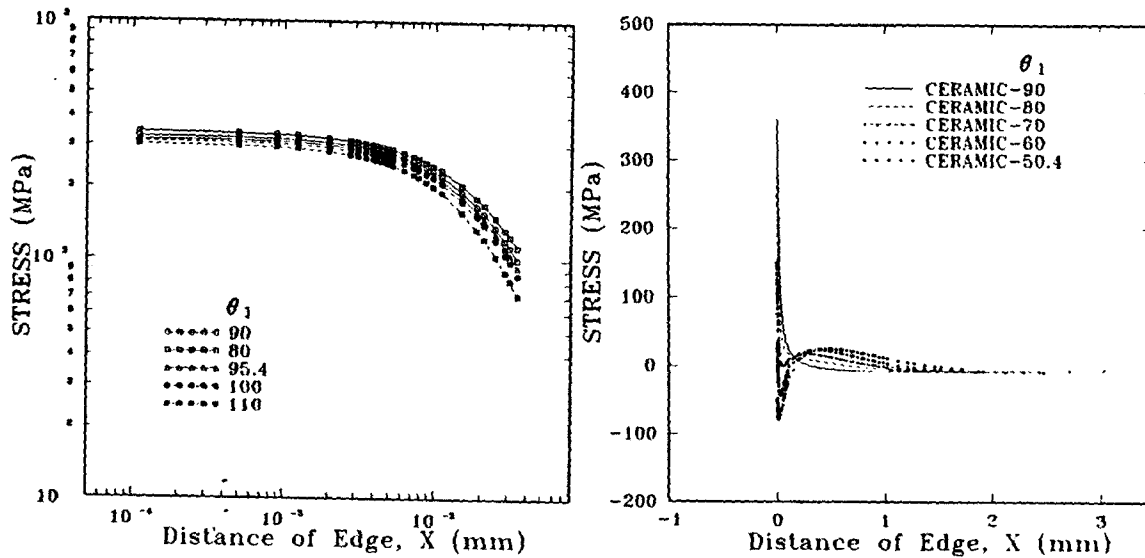


Fig. 3 Residual stress distribution according to variation of θ_1
 (in case of $E_2/E_1 = 10$, $\theta_2 = 90^\circ$)



(a) in case of Ceramics/Metal joint, $\theta_2 = 90^\circ$

(b) in case of Ceramic/Metal joint, $\theta_1 + \theta_2 = 180^\circ$

Fig. 4 Residual stress distribution according to variation of θ_1