

용접부 응력부식균열 방지를 위한 쇼트피닝 효과의 유한요소 해석

남기우 · 안석환
부경대학교

FEM Analysis of Effect of Shot Peening for Stress Corrosion Cracking at Welded Part

KI-WOO NAM AND SEOK-WHAN AHN
Pukyong National University

KEY WORDS: Shot Peening 쇼트피닝, Stress Corrosion Cracking 응력부식균열, Residual Stress 잔류응력, Stress Intensity Factor 응력 확대계수, Finite Element Method 유한요소법, Permissible Crack Size 허용균열길이

ABSTRACT: Stress intensity factor of semi-circular crack front was calculated by FEM, and also allowable crack size which doesn't break out the fracture by SCC in residual stress field of STS materials. Allowable crack size was increased with compressive residual stress provided by shot peening on material surface, and with magnitude of compressive residual stress for depth direction.

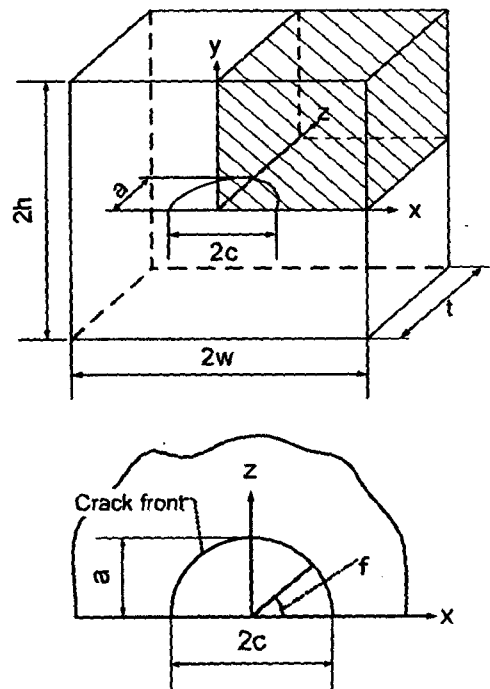
1. 서 론

해양, 화학플랜트, 원자력 플랜트 등에서 사용되는 용접구조물은 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking ; SCC)이 문제가 된다. 안전성 유지를 위하여 내부식성이 높은 재료를 사용하지만, SCC 대책이 완전한 것은 아니다. 가동중에 SCC균열이 발생하고 검출되더라도 평가상 균열진전에 문제가 없으면 계속하여 사용하게 된다. 과거의 사례에서 SCC에 의하여 용접선을 따라서 균열이 발생한다는 보고가 있다. 이러한 SCC 균열방지대책으로서 쇼트피닝 등의 표면처리에 의하여 금속표면에 압축잔류응력을 부여함이 효과적이라는 것이 알려져 있다.

본 연구에서는 STS강종의 잔류응력장에 SCC가 있는 것을 고려하여, FEM에 의하여 SCC에 의한 균열진전에 영향을 끼치지 않는 허용균열치수를 구하였다. 그리고, 압축잔류응력을 도입한 경우, 허용균열 치수 효과에 대하여 파괴역학적 관점에서 검토하였다.

2. 해석방법

STS강의 용접선 근방에 존재하는 용접선에 평행한 반원형 균열을 생각하여, Fig. 1에 나타내듯이 표면에 존재하는 반원형 균열을 모델로 하였다. STS강의 용접선 근방은 Fig. 2와 같이 용접선에 수직방향 용접잔류응력이 작용한다. 재료와 용접조건에



$t/w=1.0, h/w=1.0, c/w=0.2, c/a =1.0$

Fig. 1 Rectangular solid containing a semi-circular crack.

제1저자 남기우 연락처: 부산시 남구 용당동 100

051-620-1640 namkw@pknu.ac.kr

의하여 다르지만, 균열 표면은 약 300 MPa이고 두께방향으로 갈수록 감소한다. 재료표면부의 용접 잔류응력 분포는 균열 내면에서 거의 일정하다고 가정하고, 본 해석은 균열부 깊이 방향으로 일정한 잔류응력을 작용시켰다. Fig. 3은 해석 모델의 균열부에 부하시킨 용접후의 잔류응력장 및 쇼트피닝처리 후의 잔류응력 분포를 나타낸다. 이것을 모델을 사용하여 각 균열깊이의 균열 선단부 응력확대계수를 유한요소법으로 구하였다. 또 쇼트피닝 처리 후 잔류응력값이 0이 되는 점을 500 μ m, 700 μ m로 한 경우, 허용균열치수에 미치는 영향도 조사하였다.

해석은 내칭성을 고려하여 Fig. 4와 같이 1/4모델로 하였다. 요소는 20절점 isoparametric 육면체요소를 사용하고, 균열선단 근방에는 특이요소를 사용하였다. 종탄성계수 E는 197 MPa, 포아송비 ν 는 0.3으로 하였다. 경계조건은 Fig. 4에 나타내었다.

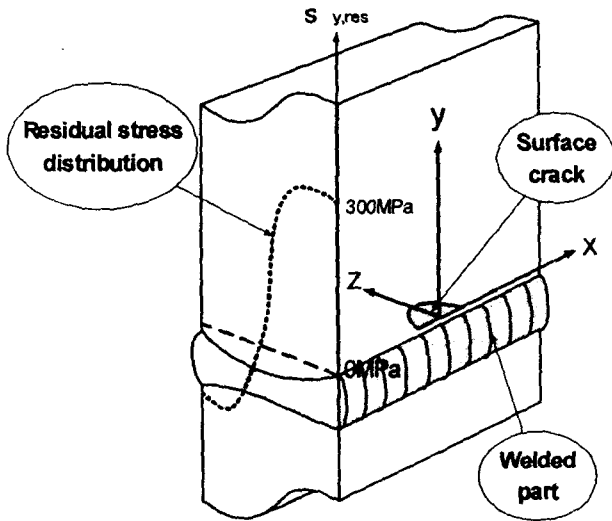


Fig. 2 Surface crack around welded part

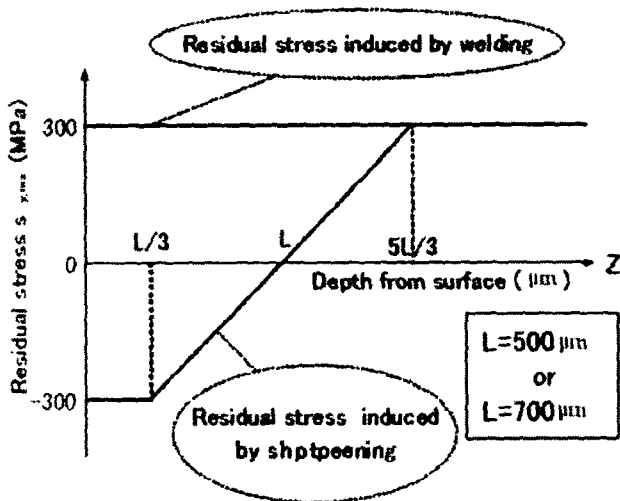


Fig. 3 Residual stress distribution

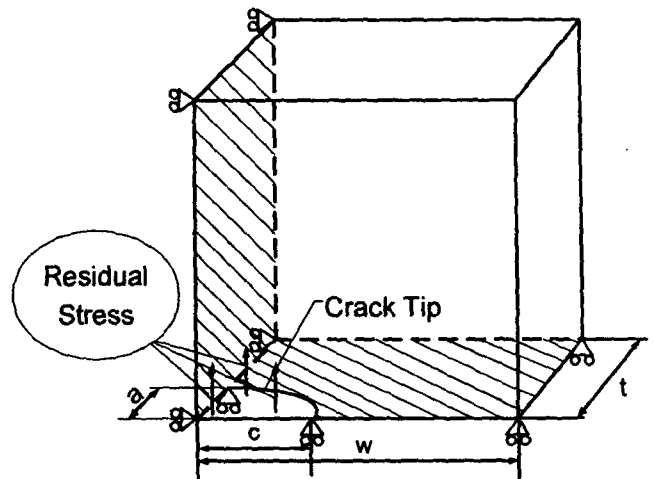


Fig. 4 Boundary conditions for rectangular solid containing a semi-circular crack (1/4model)

3. 해석결과 및 고찰

3. 1 반원형 균열 선단의 응력확대계수 K_I

요소분할의 정확성을 검증하기 위하여 균일인장응력장의 응력확대계수를 해석하고, Raju-Newman (Raju, I. S. and Newman, J. C. Jr.; 1979)의 해와 비교한 결과 오차는 3% 이내였다.

응력확대계수 K_I 에 미치는 균열깊이의 영향을 비교한 잔류응력 분포를 Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7에 나타낸다. 용접잔류응력장의 균열선단의 응력확대계수 K_I 는 Fig. 5와 같이 균열표면부에서 최대가 되고, 깊이방향으로 감소한다. Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 쇼트피닝처리 후의 잔류응력장에서 균열표면부는 압축잔류응력의 영향에 의하여 응력확대계수 K_I 은 (-)값을 나타내고, 두께 방향의 균열 최심부에서 최대값을 나타내었다. (-)의 응력확대계수 K_I 은 균열을 개구시키는 응력을 작용시킬 때의 저항력을 의미한다.

3. 2 허용균열길이

각 잔류응력분포에서 구한 K_I 에서 허용균열치수를 구한다. 각 K_I 분포의 최대값을 가로축, 균열 깊이를 세로축으로 한 것이 Fig. 8이다. STS재료에서 SCC에 의하여 균열이 진전하지 않는 하한계 응력확대계수 K_{ISCC} 는 STS304는 $3.5 \text{ MPa} \sqrt{m}$, STS304L, STS316, STS316L은 $7.0 \text{ MPa} \sqrt{m}$ 로 하여 Fig. 8에 나타내었다. 즉, 각 K_I 의 최대값이 각 재료의 K_{ISCC} 값보다 크면 응력이 작용하지 않아도 균열이 진전함을 의미한다. 용접잔류응력장중의 허용균열치수는 쇼트피닝처리 후에 매우 큰 것을 알 수 있고, 깊은 잔류응력을 부여함으로써 허용균열치수가 길어짐을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 FEM을 사용하여 반원형균열선단의 응력확대 계수를 계산하고, 각 STS 재료의 잔류응력장에서 SCC결합에 의한 파괴가 발생하지 않는 허용균열치수를 구하였다.

재료표면에 쇼트피닝처리에 의한 압축잔류응력을 부여함으로써 허용균열치수가 증가함을 알았다. 또, 압축잔류응력을 깊게 부여함으로써 허용균열치수가 증가함을 알았다.

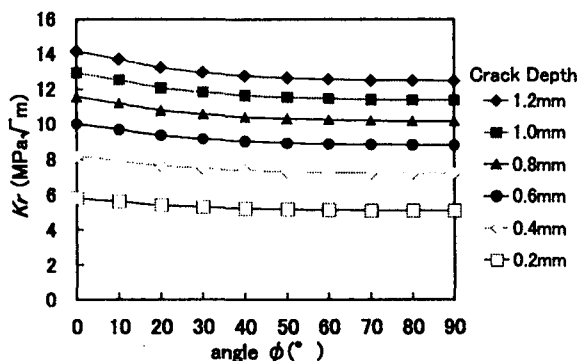


Fig. 5 Distribution of K_r along the crack front for a semi-circular crack in the residual stress field induced by welding

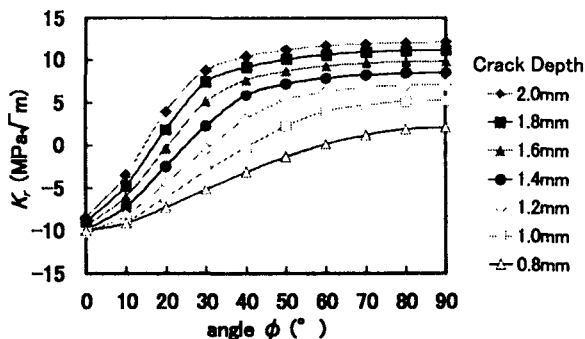


Fig. 6 Distribution of K_r along the crack front for a semi-circular crack in the residual stress field induced by shot peening ($L=500 \mu\text{m}$)

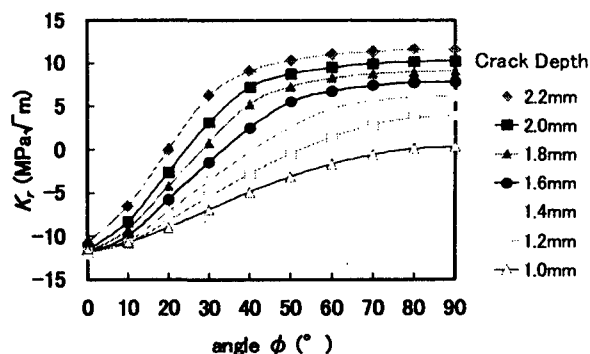


Fig. 7 Distribution of K_r along the crack front for a semi-circular crack in the residual stress field induced by shot peening ($L=700 \mu\text{m}$)

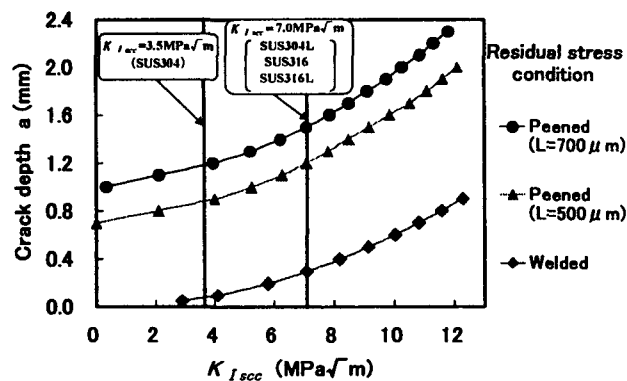


Fig. 8 Relationship between crack depth and $K_{I,SCC}$

참 고 문 헌

Raju, I. S. and Newman, J. C. Jr.(1979). Eng. Fract. Mech., 11, pp 817