

충격하중에 의한 용접부의 잔류응력 재분포에 관한 연구

A Study on The Welding Residual Stress Redistribution By The Impact Loading in Weldment

윤진오, 양영수
전남대학교 기계공학과

1. 서론

용접부와 같이 공작물에 국부적인 열을 가하게 되면 불균일한 온도 분포를 갖게 되고 이에 이어서 모재에 열응력이 발생하게 된다. 공작물이 열을 받게되면 열응력이 항복응력을 초과하여 소성 변형을 수반한 뒤 냉각됨에 따라서 수축하게 되고 재료내부에는 잔류응력을 생성시키게 된다. 잔류응력은 치수변화와 변형을 유발하고, 특히 인장잔류응력은 취성파괴의 원인이 되고 피로균열진전에도 영향을 미치게 된다. 따라서 용접부의 잔류응력의 제거 또는 감소시키는 방안을 필요로 하게 된다. 잔류응력의 이완에 가장 많이 쓰이고 있는 방법으로는 후열처리가 있다. 그러나 설비의 규모나 제약등으로 사용이 매우 곤란하다. 현장에서는 SHOT PEENING등의 충격하중으로써 잔류응력을 감소시키고 있다. 그러나 용접부의 충격하중에 대한 체계적인 데이터는 거의 없는 실정이다. 그러므로 본연구에서는 TIG SPOT으로 열을 가하고 잔류응력을 계산한 후 충격하중을 가했을 때 잔류응력의 재분포에 대해서 유한요소법을 이용하여 계산하고 용접부의 충격하중에 대한 데이터를 구하였다.

2. 유한요소 모델링

열응력 계산은 유한요소 상용 code인 ABAQUS를 사용하여 계산을 수행하였다. 열응력 계산은 온도분포를 구한후 이 데이터로 상온으로 시편을 냉각시키면서 계산하였고, 그후에 충격하중을 가하여 잔류응력의 재분포를 상용 code인 ABAQUS를 사용하여 계산하였다.

2.1 해석영역 및 경계조건

해석모델(fig1)은 축대칭으로 가정하여 2차원(r-z축)좌표계로 해석을 하였다. 열원의 입력은 한 점을 중심으로 Gaussian분포를 갖는 flux로 입력되는 TIG SPOT으로 가정하였다. 해석모델이 축대칭이므로 r=0인면에서는 단열조건이고 표면에서는 자연대류가 일어난다. 열응력 계산을 위한 경계조건은 r=0인면에서 r방향 변위를 구속하였으며, 축대칭이므로 θ 방향으로 구속이 이루어져 rigid body motion을 구속하는 경계조건을 만족한다. 해석을 위한 모델은 반경 20mm 두께 6mm로 하였다.

2.2 용접조건 및 재료의 물성치

시편재료는 공업적으로 많이 사용하고 있는 SUS304를 사용하였고, 수치해석 계산시 재료의 열적 기계적성질은 온도변화에 따라 고려했으며 잠열효과도 고려하였다. 용접조건은 전압 20V, 전류 200A, 입열효율 67%로 가정하였다.

3. 충격하중

열응력의 계산후에 잔류응력의 이완을 위해서 열이 유입된 부분에 충격하중(fig2)을 가하였다. 충격하중은 지름이 0.9mm인 구가 초기속도를 가지고 시편에 충돌하는 것을 상용코드인 ABAQUS를 사용하여 모델링하고 해석을 수행하였다. 충격하중의 변화를 위해서 구의 초기충돌속도를 변화시키면서 해석을 수행하였고, 그후의 잔류응력의 재분포를 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig3의 (A)와 (a)는 2는 각각 용접부의 σ_{rr} 과 $\sigma_{\theta\theta}$ 방향의 잔류응력을 보여주고 있다. 열이 유입된 부분을 중심으로 인장잔류응력이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. Fig3의 (B)에서 (d)까지는 용접부에 잔류응력이 걸려있는 상태에서 그위에 구를 충돌시켜 충격하중을 가했을 때의 잔류응력의 재분포를 보여 주고 있다. 구의 속도를 10 m/s, 30 m/s, 80 m/s로 속도를 변화시키면서 충격하중을 가하였다. Fig3의(B)와 (b)는 10m/s로 충돌시켰을 때 잔류응력의 재분포를 보여주고 있는 그림이다. 충격하중이 가해진 열이 유입된 부분은 처음 용접부의 잔류응력보다 보다 적은 잔류응력 분포를 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 구의 충격하중에 의해 충돌한 부분에 압축잔류응력이 걸리면서 용접부의 인장잔류응력을 감소시킨 것으로 보인다. 그리고 속도가 커짐에 따라 용접부의 인장잔류응력이 감소하고 구의 충돌 부분에 더욱 큰 압축 잔류응력이 걸리는 것을 볼 수 있다. 속도에 따른 차이는 있지만 대체적으로 용접부의 인장잔류응력은 충격하중을 가함으로써 감소되고 있는 것을 볼 수 있다. 속도가 10 m/s 인 경우에는 용접부의 인장잔류응력을 감소 시키고는 있으나 구의 충돌 부분에서 압축잔류응력이 걸리 지는 않고 있다. 30 m/s인 경우에는 충돌한 작은 영역에 압축잔류응력이 분포되는 것을 알 수 있다. 80 m/s로 충돌한 경우에는 앞의 경우보다 다소 많은 영역의 충돌부분에 압축잔류응력이 걸리는 것을 볼 수 있다. 좀더 넓은 영역에 걸쳐서 압축잔류응력이 생기려면 구의 크기가 더 크면 가능해 질 것 같다.

5. 결론

용접부에 충격하중을 가함으로써 얻어지는 잔류응력의 재분포로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 용접부에 충격하중을 가하게 되면 속도가 비교적 적은 경우에도 용접부의 인장 잔류응력 감소에 영향을 미친다.
- (2) 속도가 증가할수록 넓은 영역에 걸쳐서 압축 잔류응력이 분포한다.

6. 참고문헌

- [1] Ken-ichiro MORI, Kozo OSAKADA, Masanori SHIOMI and Tatsuo OKADA "Three-dimensional finite element simulation of plastic deformation and residual stress in shot peening", 일본기계학회논문집 56권 566호(1993-10)
- [2] Ken-ichiro MORI, Kozo OSAKADA, Masanori SHIOMI and Tatsuo OKADA "Rigid-Plastic Finite Element Simulation of Peening process with Plastically Deforming Shot", JSME Internal journal Series A, Vol, 39, No. 3, 1996
- [3] Hibbitt, Karlsson & Sonrensen Inc., ABAQUS MANUAL, 1995
- [4] Metal Handbook, American Society for Metals, Metal Park, Ohio, Vol. 1, 10th edition, 1978

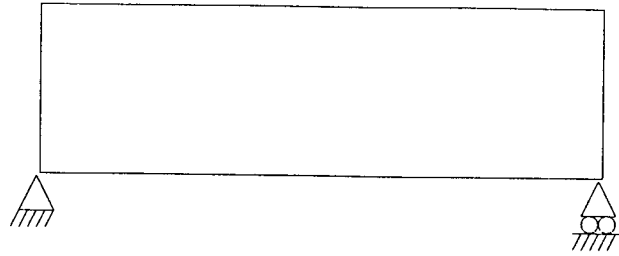


fig.1 열응력 해석을 위한 모델과 경계조건

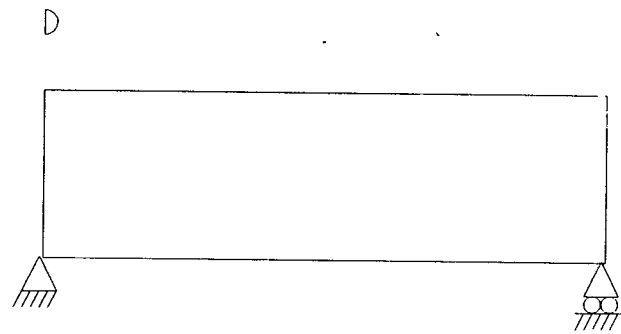
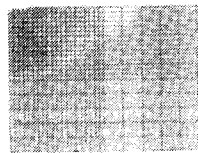
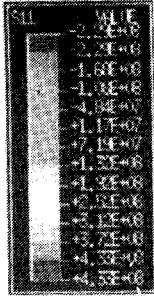


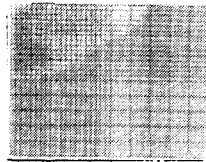
fig.2 충격하중을 가한후의 응력해석을 위한 모델과 경계조건



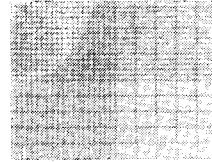
(A)



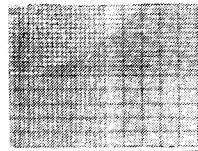
(a)



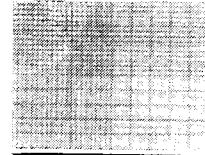
(B)



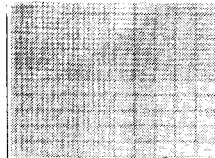
(b)



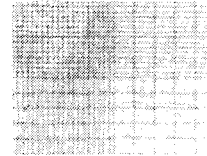
(C)



(c)



(D)



(d)

fig.3 용접후 잔류응력과 충격하중을 가한후의 잔류응력

(A) σ_r , as - welded

(a) $\sigma_{\theta\theta}$, as - welded

(B) σ_r , v=10 m/s

(b) $\sigma_{\theta\theta}$, v=10 m/s

(C) σ_r , v=30 m/s

(c) $\sigma_{\theta\theta}$, v=30 m/s

(D) σ_r , v=80 m/s

(d) $\sigma_{\theta\theta}$, v=80 m/s