

구조용강에서 용접 Toe Notch의 피로파괴거동에 관한 연구

A Study on the Fatigue Fracture Behavior of Weld Toe Notch in Structure Steel

차 용훈(조선대 기계공학과), 김 하식(조선대 공업전문대), 노 승희(조선대 대학원)
Y.H. Cha(Chosun Univ.), H.S. Kim (Chosun Jr. Coll.), S.H. Noh(Chosun Univ.)

ABSTRACT :

1. The crack is initiated at a toe notch and reaptured for the skip and continuous welding.
2. Fatigue life of continuous welding is greater than that of skip welding and fatigue life of 2Pad continuous welding appears 1.7 times more than that of pad continuous welding.
3. For the skip and continuous welding, fatigue than that of welding materials appears shorter than that of welding materials because of the effect of plastic strain and compressive residual stresses at the crack tip, which are generated by the over loading.
4. Inter-relationship between $da/dN - \Delta K$ and delayed phenomenon increases linearly at the state growth area of heat effect section for the skip and continuous welding.

1. 서 론

용접은 영구적으로 금속부재를 접합하기 위한 가장경제적이고 효율적인 방법으로 강구조물, 조선, 차량, 산업설비 및 수송기계 등의 수리와 생산공장에서 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나 용접시 발생하는 결함 등의 영향으로 용접부에 균열이 발생되어 취성파괴를 초래하기도 하며 단시간 국부적인 가열에 따른 잔류응력 발생등이 주요 문제가 되고 있다.

강구조물은 용접후 잔류응력이 존재하는데 좌굴강도저하, 취성파괴, 피로강도저하 등의 원인이 된다.

Glinka 및 Nelson^{(1),(2)} 은 실험을 통하여 용접부 잔류응력이 피로균열전파에 미치는 영향에 대하여 연구 하였으며 인장잔류응력은 피로균열 성장을 가속시키는 반면 압축잔류응력을 감소시키며 작용하중이 낮을수록 잔류응력의 영향이 현저하다고 하였다.

이와 같이 용접의 피로강도에 미치는 잔류응력, 용접결함, 용접토우노치의 영향에 대하여 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나 일반적으로 압력용기는 좌굴저항을 향상시키기 위하여 패드로 보강하고 있으며 특히, 내압이나 진동하중과 수평설제하중 및 정적하중 등의 상태에 있으므로 이를 보강하는 패드에 대한 평가는 매우중요하다고 할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 패드에 필렛 단속용접과 연속용접에서 용접토우노치의 피로거동과

안정성장 영역에서의 $da/dN - \Delta K$ 관계에 미치는 잔류응력의 영향 및 용접후 열처리재의 피로수명과 표면경도 등에 관하여 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 재료 및 시험편

실험에 사용된 재료는 압력용기구조물에 사용되는 저탄소강 판두께 9mm인 연강압연한 ASTM A516 grade 60강을 사용하였다.

재료의 화학적성분과 기계적성질은 Table 2.1, 2.2와 같다.

시험편의 형상과 크기는 Fig.2.1, 2.2와 같으며 밴드쇼어로 절단후 밀링 및 드릴 가공을 실시 하였다.

Table 2.1 Chemical compositions of A516 grade 60 steel (Wt %)

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Cu | v |
|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 0.09 | 0.24 | 0.67 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.002 | 0.03 | 0.012 | 0.008 |

Table 2.2 Mechanical properties of A516 grade 60 steel

| Metal | Stress at 0.2% Yield (kg/mm ²) | Tensile Strength (kg/mm ²) | Elongation(%) |
|-------|--|--|---------------|
| Base | 13.78 | 42.88 | 46.13 |

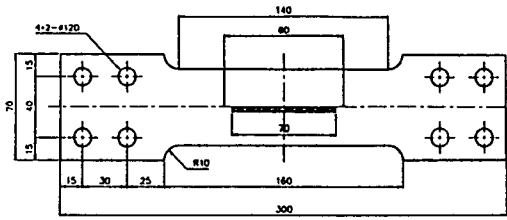


Fig. 2.1 Pad-on-plate specimen(continuous welding)

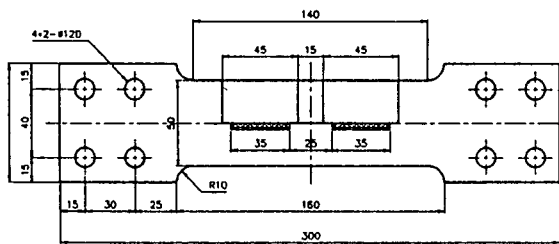


Fig. 2.2 2Pad-on-plate specimen(continuous welding)

2.2 용접 및 열처리

용접봉은 고려용접봉(주) 직경 1.2mm인 고장력강인 K-71T(플렉스 코오드와이어)를 사용하였으며, CO₂ 자동용접기로 용접변형을 방지하기 위하여 지그로 구속한 상태에서 실시하였다. 용접봉의 화학적 성분과 용접조건은 Table 2.3, 2.4와 같다.

열처리 조건은 1시간 동안 650℃에서 As용접 시편을 Annealing하였다.

Table 2.3 Chemical compositions of Welding Electrode (Wt%)

| C | Si | Mn | P | S |
|------|------|------|-------|-------|
| 0.05 | 0.53 | 1.43 | 0.015 | 0.012 |

Table 2.4 Welding procedures

| Welding Method | Welding Current(A) | Welding Voltage(V) | Welding (cm/min) |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| CO ₂ 자동용접 | 250 | 30 | 30 |

2.3 실험장치

사용한 시험기는 10ton용량의 서보유압피로 시험기이며 피로균열길이는 OSM을 부착한 배율 ×50인 이동식현미경을 사용하여 균열 성장을 관찰하고 길이를 측정하였다.

피로시험은 ΔP-일정 하중제어 방식을 사용하고 정현파형, 하중비(R) 0.1, 5Hz, 실험실온도는 상온에서 행하였다.

2.4 경도 및 용접잔류응력측정

경도는 용접재와 용접후 열처리재에서 Base metal, HAZ부를 Microvickers 경도계로 측정하였으며, 용접잔류응력측정은 응력이완법으로 1mm의 Strain Gage를 5mm간격으로 부착하고, Strain Gage Sectioning Method를 이용하여 두 축방향(σ_x , σ_y)을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 a-N관계

패드에 필렛 단속, 연속용접에서 피로실험한 결과 a-N관계는 Fig 3.1~3.3과 같다.

Fig 3.1은 단속, 연속용접 및 2Pad연속과 Bead연속용접의 a-N관계를 비교하였으며, 연속용접이 단속용접에 비하여 피로수명이 길고, 2Pad연속용접 보다 Bead연속용접이 더 길게 나타났다.

Fig 3.2, 3.3은 단속, 연속용접재와 열처리재를 비교한 것으로 열처리재가 용접재보다 피로수명이 짧게 나타난 이유는 과대하중으로 인한 크랙선단에 압축잔류응력과 소성변형의 영향인 것으로 생각된다.

3.2 da/dN-ΔK 관계

Fig 3.4~3.6은 피로균열성장속도(da/dN)를 응력확대계수 변동폭(ΔK)에 대하여 나타낸 것이다.

Fig. 3.4는 단속, 연속용접의 ΔK영역에서 피로균열속도 da/dN 관계를 나타냈으며, 열영향부에서 지연현상이 나타나지만, 안전성장영역에서는 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈다.

Fig 3.5, 3.6에서와 같이 용접재와 열처리재는

지연구간이 같았으며, 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈다.

3.3 경도 및 잔류응력의 분포

Fig 3.7은 용접재와 용접후열처리재의 경도분포를 나타낸 것이며, Fig 3.8은 용접잔류응력을 측정 한 결과를 나타낸 것이다.

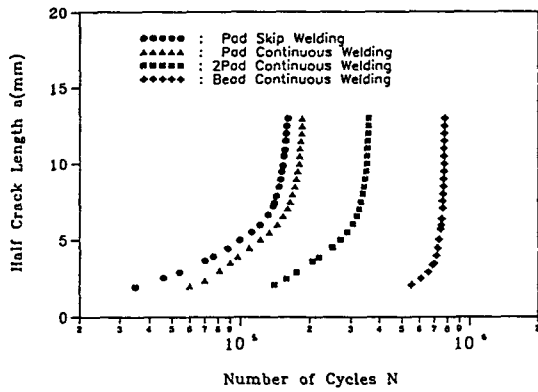


Fig 3.1 Experimental a-N curves

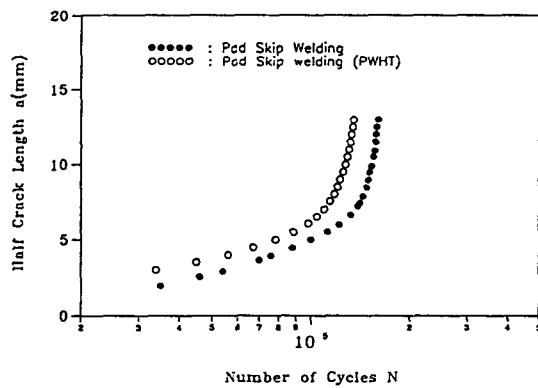


Fig 3.2 Experimental a-N curves (PWHT)

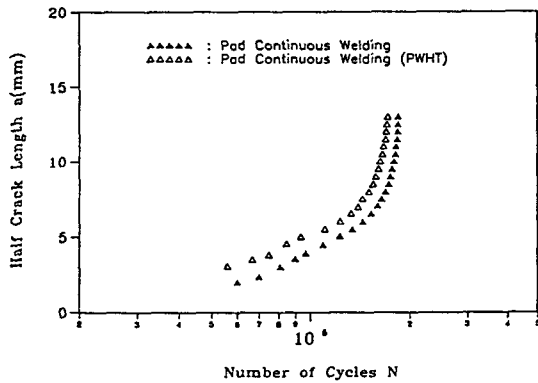


Fig 3.3 Experimental a-N curves (PWHT)

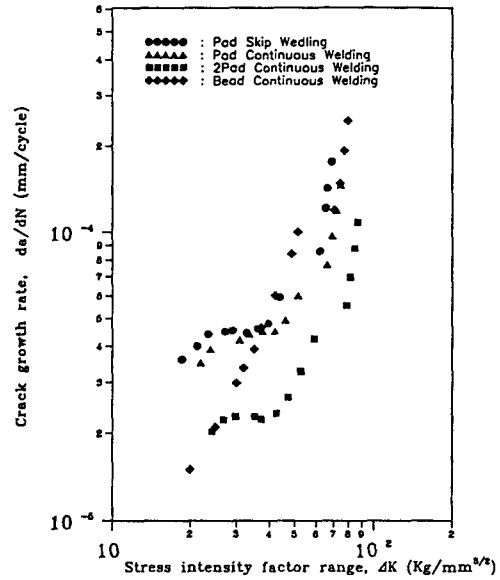


Fig 3.4 da/dN-ΔK relations of Weld Metal

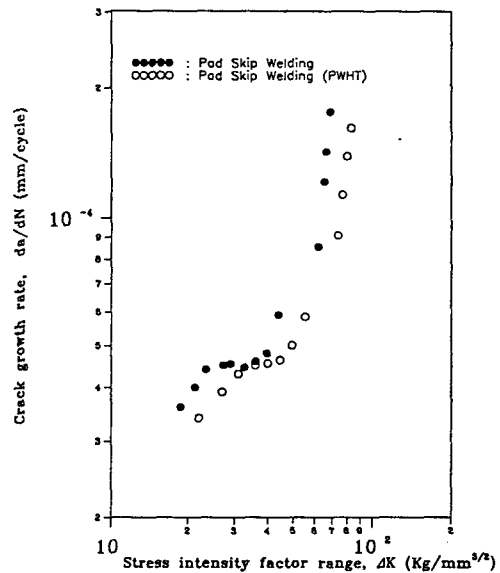


Fig 3.5 da/dN-ΔK relations of Weld Metal (PWHT)

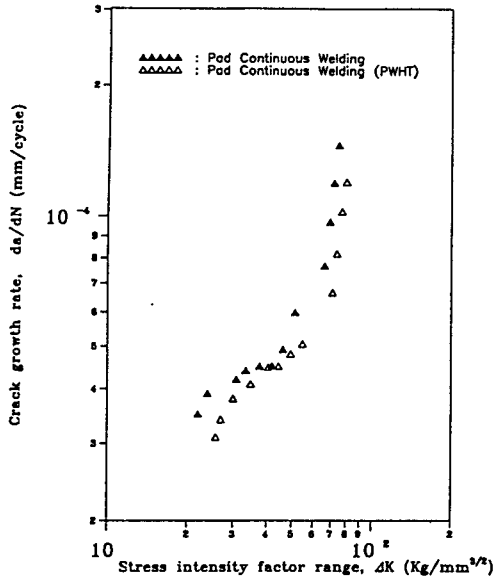


Fig 3.6 da/dN- ΔK relations of Weld Metal (PWHT)

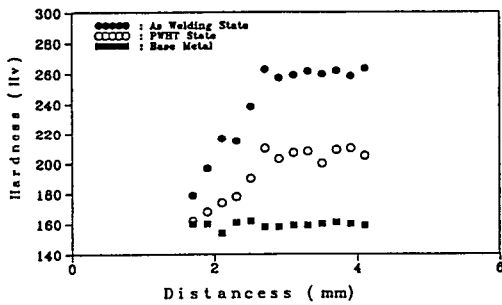


Fig 3.7 Hardness distribution in the weld plate

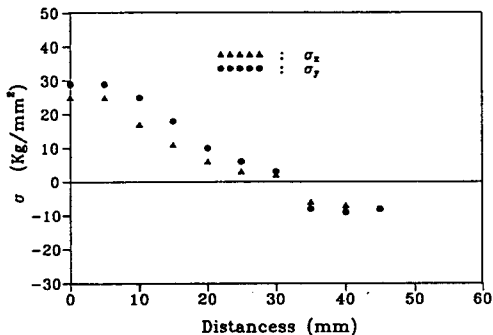


Fig 3.8 Initial distribution of residual stress in Weld Metal

4. 결론

1. 단속, 연속용접에서의 균열은 용접토우노치에서 시작하여 파단되었다.
2. 연속용접이 단속용접에 비하여 피로수명이 길고 2Pad연속용접은 Pad연속용접 보다 약 1.7배 정도 길게 나타났다.
3. 단속, 연속용접에서 열처리재가 용접재보다 피로수명이 짧게 나타난 이유는 과대하중으로 인한 크랙선단에 압축잔류응력과 소성변형의 영향인 것 같다.
4. 단속, 연속용접에서 da/dN- ΔK 관계는 열영향부에서 지연현상과 안정성장영역에서는 선형적으로 증가 하였다.

참고문헌

- (1) G.Glinka, "Effect of Residual Stresses on Fatigue Crack Growth in Steel Weldments under Constant and Variable Amplitude Loads", ASTM STP 677, PP.198-214, 1979
- (2) D.V.Nelson, "Effect of Residual Stress on Fatigue Crack Propagation", ASTM STP 776, PP.172-194, 1982
- (3) McFadyen, N.B., R.Bell, O. Vosikovsky "Fatigue crack growth of semi-elliptical surface cracks" Int. J. Fatigue, Vol.12, No.1, PP.43-50, 1990
- (4) Stress Intensity Factors Handbook, Ed. by Y. Murakami et al, Pergaman Press, 1987
- (5) McFadyen, N.B., R.Bell, O. Vosikovsky "Fatigue crack growth of semi-elliptical surface cracks" Int. J. Fatigue, Vol.12, No.1, PP.43-50, 1990
- (6) Stress Intensity Factors Handbook, Ed. by Y. Murakami et al, Pergaman Press, 1987
- (7) K.Masubuchi, "Analysys of Welded Structures", International Series on Materials Science and Technology, Vol.33, PP.1-10, 1980