

# 용접잔류응력이 피로크랙의 개폐거동에 미치는 영향

## (Effect of Welding Residual Stress on Fatigue Crack Opening Stress)

김 응 준 (해사기술연구소)

### 1. 서 언

압축 잔류응력장에 존재하는 피로크랙은 크랙주위의 압축 잔류응력으로 인하여 무부하 상태에서 크랙면이 완전히 닫히게 된다. 따라서 피로크랙이 존재하는 압축잔류 응력장에서의 무부하 상태로 부터 하중부하에 의하여 크랙이 열리기 시작할 때까지의 하중부하에 따른 재료의 역학적 거동은 크랙이 존재하지 않는 재료의 경우와 동일하게 생각할 수 있다.

이러한 이론적 배경을 바탕으로, 본 연구에서는 하중부하에 따라 변화하는 크랙근방의 strain 분포의 측정결과를 바탕으로 하여, 피로크랙의 전파거동에 영향을 미치는 잔류응력의 효과를 정량적으로 평가하는 기초적 연구로서 잔류응력장에서의 피로크랙의 개구응력을 측정하는 방법에 대하여 실험적인 검토를 수행하였다.

### 2. 실험방법

시험편은 판두께 10mm의 800MPa급 고장력강 (HT80)으로 시험편 형상을 Fig.1에 나타내었다. Fig.2는 압축잔류 응력장에서의 피로크랙의 개폐거동을 검토하기 위한 시험편의 초기 slit와 용접 bead의 위치 관계를 나타낸 것이다. 또한 Fig.3은 피로크랙 전파에 따른 하중부하시의 크랙주변의 각위치에서의 strain의 변화를 검토하기 위하여 시험편 표면에 부착한 strain gauge의 위치이다.

피로크랙 전파실험은 인장-압축형의 전기 유압 servo식 피로시험기를 사용하여 하중제어 방식으로 진행하였다.

### 3. 실험결과

Fig.4는 모재시험편에 있어서 시험편 판폭의 중앙으로부터 좌우로 14.5mm 떨어진 위치에 하중축 방향과 평행하게 부착된 하중부하 방향의 집중 strain gauge를 사용하여 측정된 크랙선단 전방에 있어서의 하중부하에 따른 하중부하 방향 strain의 변화를 나타낸 것이다.

그림의 횡축에는 최소하중 ( $\sigma_{min}$ )으로 부터 측정하중 ( $\sigma_m$ )까지의 하중축 방향 strain의 변화량을, 종축에는 크랙 및 크랙 연장선으로부터 측정위치까지의 수직거리 (즉 집중 strain gauge의 각 gauge의 간격 2mm)을 나타내고, 최소하중으로 부터 그림의 기호로 표시되어 있는 측정하중까지의 strain의 변화를 같은 기호로 나타내고 있다.

크랙 연장선상의 strain의 변화량이 크랙 연장선상으로 부터 2mm 떨어진 위치에서의 strain의 변화량 보다 작고, 이로부터 크랙선단 전방에서의 하중 축방향의 응력집중이 하중축 방향의 strain 집중과 비례하지 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig.5는 모재시험편에 있어서 크랙전파 방향 strain의 크랙 연장선과 수직한 방향의 변화를 나타낸 것이다.

하중부하에 따른 크랙전파 방향 strain의 크랙연장선에 수직한 방향의 분포는 크랙연장선상에 커다란 인장 strain의 집중이, 또한 크랙연장선상에 수직한 방향으로 떨어진 위치일수록 압축 strain의 집중이 생기는 변화를 하고 있다.

Fig.6는 Fig.5의 크랙연장선상 및 크랙연장선상에서 2mm 떨어진 위치의 strain gauge로부터 얻어진 하중-크랙전파 방향 strain의 hysteresis curve이다.

크랙선단 바로 전방에 부착한 strain gauge로 부터 얻어진 hysteresis curve A의 변화는 크랙전파 방향 strain이 초기에는 - 방향으로 증가하나 그후 + 방향으로 증가의 방향이 바뀌는 것을 알 수 있다. 이와같이 크랙전파 방향 strain이 최기에 - 방향으로 증가하는 것은 크랙주변에 존재하는 소성역<sup>1)</sup>으로 인하여 무부하 상태에서 크랙선단부가 닫혀 있어, 크랙선단이 완전히 열릴때까지는 poisson's ratio의 효과가 잔여하기 때문인 것으로 추정된다.

따라서 이러한 hysteresis curve로 부터 크랙선단의 개구응력을 구할때는 크랙전파 방향 strain 이 최소값을 나타내는 점의 하중 level 을 구하면 된다.

Fig.7은 모재시험편의 피로크랙 전파실험중 임의의 크랙 길이에서의 크랙선단 전방의 strain gauge 로 부터 얻어진 하중 .크랙전파 방향 strain 의 hysteresis curve 이다. 하중부하에 따른 크랙전 파 방향 strain 의 변화의 경향은 위에서 언급한 것과 일치하는 것을 알수 있다.

Fig.8는 시험편 중앙부에 압축잔류응력이 존재하는 시험편의 경우, 하중 .크랙전파방향 strain 의 hysteresis curve 를 측정시의 크랙길이와 같이 나타낸 것이다.

압축잔류응력으로 인하여 무부하 상태에서 완전히 닫혀 있던 피로크랙은 하중이 부하되어 크랙선단이 열릴때까지는 크랙전파 방향의 strain 이 - 방향으로 직선적으로 변화하나 크랙선단 이 완전히 열린후에는 + 방향으로 다시금 직선적인 변화를 하고 있어, 크랙선단 전방에 부착 한 strain gauge 를 사용하여 얻어진 하중 .크랙전파 방향 strain 의 hysteresis curve 로 부터 크랙 선단의 개구응력을 명확하게 검출할 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 참고문헌

- 1) Elber. w. : The Significance of Fracture Crack Closure, ASTM STP486, 1971, pp. 230-242

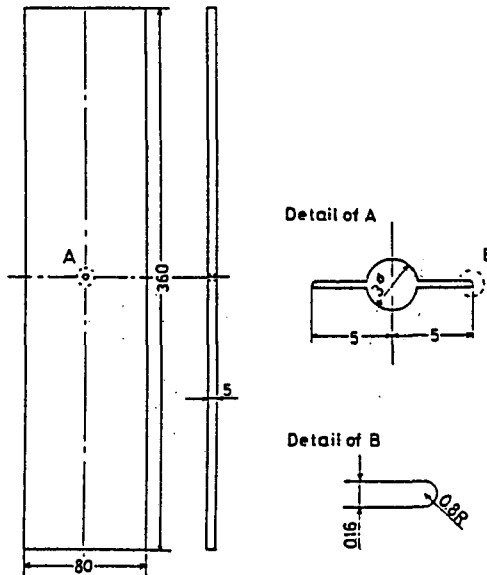


Fig.1 Test specimen design

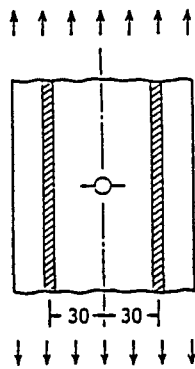


Fig.2 Location of weld beads and initial notch

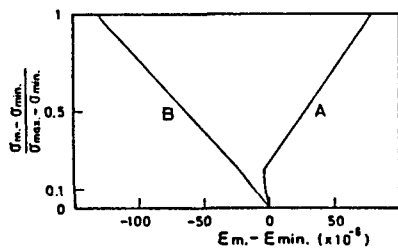


Fig.6 Load-transverse strain hysteresis curve

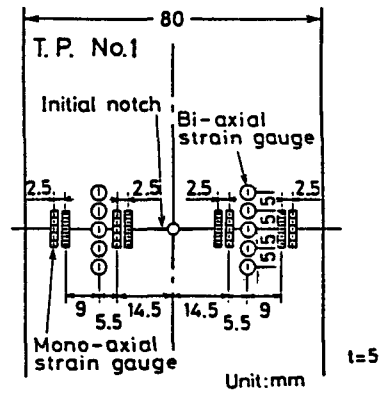


Fig.3 Position of strain gauges

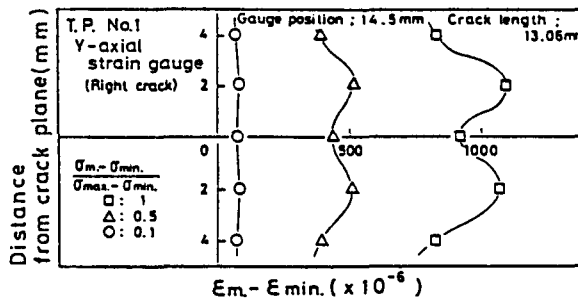


Fig.4 Axial strain distribution during uploading

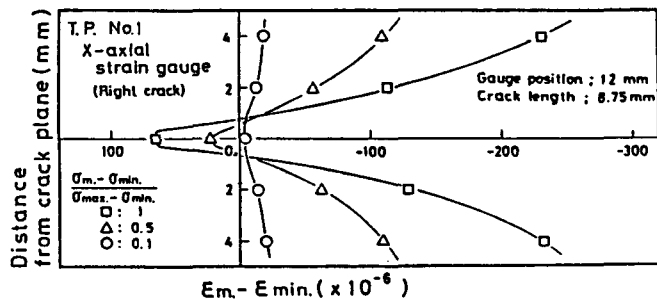


Fig.5 Transverse strain distribution during uploading

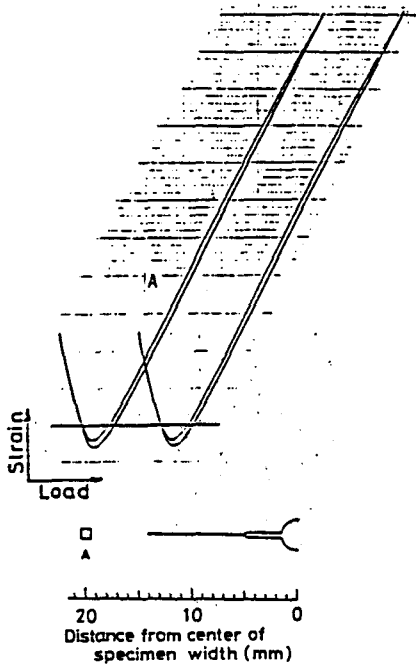


Fig.7 Load-transverse strain hysteresis curve (base metal)

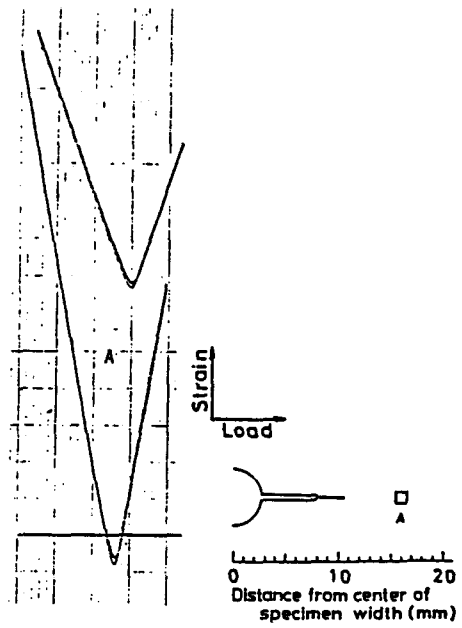


Fig.8 Load-transverse strain hysteresis curve (compressive residual stress field)