

압연 및 용접방향이 동일한 강 용접재의 하중방향에 따른 피로균열 진전특성

Characteristics of fatigue crack propagations with respect to tensile loading directions
in welded steel plates with the same direction of rolling and welding bead

김 성업 *, 오 병덕 *, 이 용복 **

* 홍익대학교 대학원 기계공학과

** 홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

1. 서 론

산업의 발전과 더불어 모든 기계나 산업구조물의 설계상 더 안전하고 경제적인 설계를 위하여 제조과정과 가공에 대한 개선방법이 꾸준히 진행되고 있으나 사용조건이 더욱 가혹해지고, 산업재해 문제가 크게 대두되면서 설계상 안전성 및 신뢰성 확보에 어려움을 겪고 있다. 재료의 제조과정으로부터 유발되는 압연에 의한 방향성이 기계적 성질과 피로특성에 미치는 영향, 용접으로 인한 국부적인 잔류응력의 존재, 외부 작용하중의 크기 및 방향과 관련한 피로균열 특성 등 복잡한 역학적 관계로 특히 용접구조상의 안전설계를 위하여는 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다. 이와 관련하여 본 연구에서는 먼저 압연강판재의 압연방향에 따른 기계적 특성과 피로특성을 파악하고, 이를 기초로 하여 용접재료에서의 하중방향에 대한 용접선 방향 및 압연방향에 따라 용접 잔류응력이 피로균열 진전에 끼치는 영향을 실험적으로 규명하고, 효율적이고, 안전한 용접구조물 설계방법에 대하여 고찰해보고자 하였다.

2. 실 험

2.1 시험편의 준비

본 연구를 위하여 일반 강구조물 재료로 많이 사용하고 있는 3mm 두께의 열간 압연강재 SS400을 선택하였고, 인장시험을 위하여 하중방향에 대하여 압연방향을 0°, 30°, 45°, 60° 및 90°가 되도록 채취하였다. 그리고 Fig.1에 나타낸 바

와 같이 KS 5호 규격에 따라 0.01mm 이내의 오차범위로 와이어 절단(wire cutting)으로 가공하였다. 모재 피로균열 시험편은 Fig.2의 규격으로 인장시험편과 같이 하중방향에 대하여 압연방향 각도를 주어 와이어 절단가공하였고, 용접재의 피로균열 시험편은 강판의 압연방향과 같은 방향으로 용접비드 방향을 잡고, 용접으로 인한 재료의 과대변형을 막기 위하여 용접재료를 지그로 고정시킨 후 앞 뒤 양쪽을 GTAW 용접하였다. 용접은 230암페어의 전류와 26볼트의 전압으로 12L/min 유량의 혼합가스 분위기에서 40cm/min의 속도로 수행하였다. 그리고 모재 시험편과 같은 규격으로 와이어 절단가공하였다. 모재 및 용

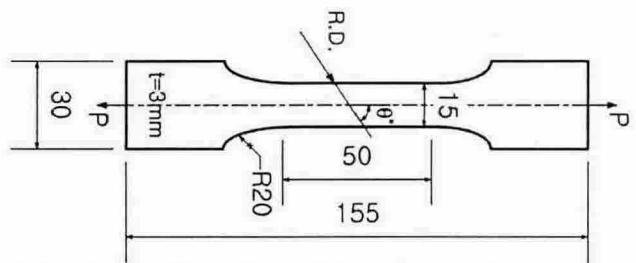


Fig. 1. Configuration of tensile specimen

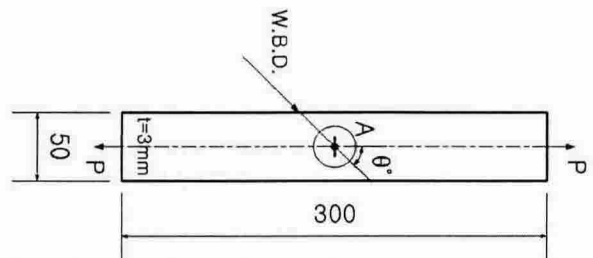


Fig. 2. Configuration of welded steel plate specimen for fatigue test

접재의 피로균열 시험편은 중앙에 $\phi 2\text{mm}$ 의 구멍을 뚫고, 구멍으로부터 0.1mm의 슬릿(slit)을 좌우 방향으로 각 2mm의 길이로 기계가공하였고 그로부터 양쪽으로 2mm 길이의 피로균열을 진전시킨 후 피로균열 진전시험을 하였다.

2.2 시험 방법

모재 시험편의 압연방향에 따른 기계적 특성을 알아보기 위하여 10톤 용량의 재료시험기(UTM, MODEL T48-0)를 사용하였고, 피로균열 진전시험을 위하여는 5톤 용량의 피로시험기(Instron 8511)를 사용하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 준비한 시험편을 하중방향에 대한 압연방향별로 3편씩 사용하여 응력비 $R=0$, 최대하중 2,400Kg, 반복수 10Hz로 피로균열 진전시험을 하였다. 이때 일정하중 싸이클마다 독취현미경으로 1/100mm의 정확도로 균열진전 길이를 측정하였다. 용접재에 대한 시험은 먼저 자기식 응력측정기로 용접부의 잔류응력을 여러번 측정하여 타당성 있는 잔류응력 분포도를 Terada 식과 결부시켜 얻고, 모재의 피로균열 진전시험편과 동일조건 하에서 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재료의 압연방향에 따른 기계적 성질

모재 시험편 재료의 인장강도는 전반적으로 큰 차이는 없고, 항복강도는 하중방향과 압연방향 각도가 클수록 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 그리고 연신률은 압연방향 각도가 클수록 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

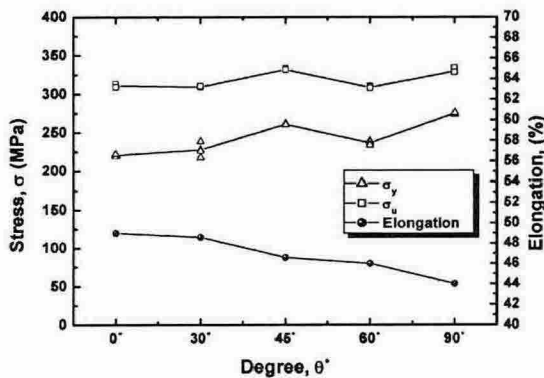


Fig. 3. σ_y , σ_x and elongation

3.2 용접재의 피로균열 진전특성

용접시험편의 잔류응력 분포는 Fig.4와 같고, 용접시험편에 대한 피로균열 진전시험 결과는 하중방향에 대한 용접 및 압연방향 각도에 따라 응력확대계수폭(ΔK)과 균열진전 속도의 관계를 Fig.5~Fig.9에 나타내었다. 용접재 시험편에서의 피로균열 진전속도는 초기 인장 잔류응력 지역에서 모재 시험편의 경우보다 높게 나타나고, 균열

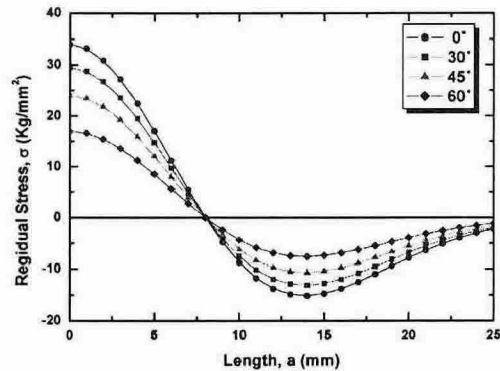


Fig. 4. Distributions of residual stress

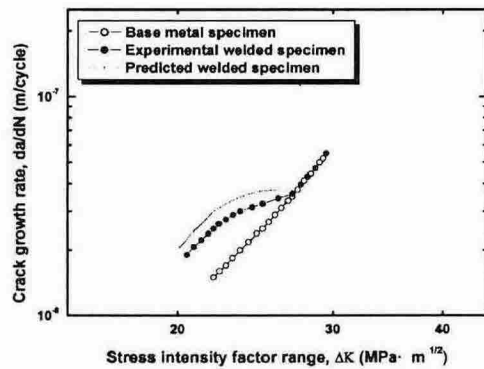


Fig. 5. da/dN vs. $\Delta K(\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}})$ [$\theta=0^\circ$]

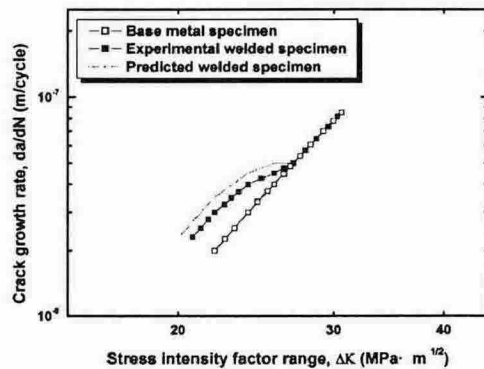


Fig. 6. da/dN vs. $\Delta K(\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}})$ [$\theta=30^\circ$]

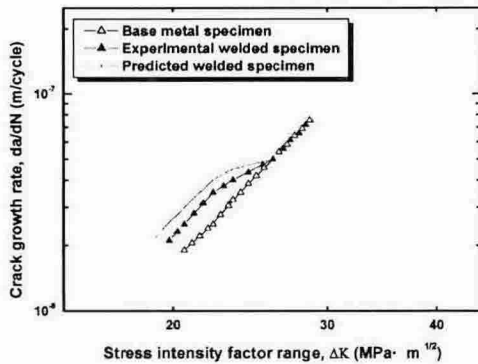


Fig. 7. da/dN vs. $\Delta K(\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}})$ [$\theta=45^\circ$]

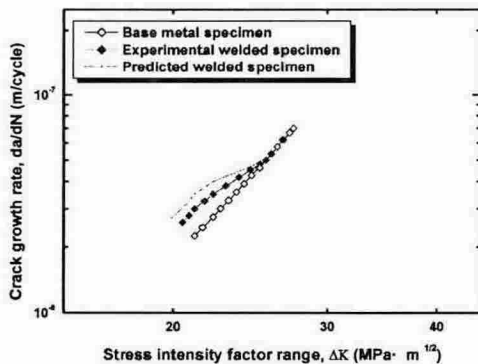


Fig. 8. da/dN vs. $\Delta K(\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}})$ [$\theta=60^\circ$]

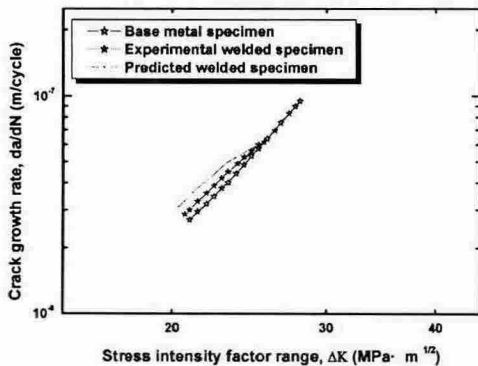


Fig. 9. da/dN vs. $\Delta K(\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}})$ [$\theta=90^\circ$]

이 진전됨에 따라 모재의 균열진전 속도와 접근하여 나중에는 같은 균열 진전속도로 나타난다. 이와 같은 경향은 초기에 시험편 중앙부의 높은 인장 잔류응력이 작용 인장하중과 중첩하여 작용하므로 피로균열 진전속도를 높게 하며 점점 균열이 진전되면서 인장 잔류응력의 영향이 감소하고, 나중에는 용접 잔류응력 영향을 받지 않기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 경향은 하중방

향에 대한 용접선 방향의 각도가 다른 모든 시험편에서 같은 경향으로 나타나며 하중방향에 대한 용접선 각도가 커짐에 따라 균열진전 방향에 분포하는 잔류응력은 감소하여 균열진전 속도에 대한 그 영향이 감소하는 것으로 나타나고 있다.

4. 결 론

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하중방향에 대한 재료의 압연방향이 커짐에 따라 항복점은 대체적으로 증가하며, 연신률은 일률적으로 감소하는 경향이 있고, 피로균열진전속도는 높게 나타나는 경향을 보인다.
- 2) 용접재에서의 피로균열진전은 전반적으로 용접 잔류응력 분포상태에 따라 일률적이고, 예민하게 영향을 받으며, 하중방향에 대한 용접선 방향이 클수록 그 영향은 감소한다.
- 3) 종합적으로 용접구조물의 안전설계를 위하여는 용접에 의한 잔류응력 분포를 정확하게 파악하고, 하중의 크기와 방향 그리고 재료의 압연 방향을 잘 조화시켜 고려하는 것이 중요하다고 사료된다.

후 기

이 논문은 2004년도 홍익대학교 교내연구비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. Sang Chul Kim, Yong Bok Lee : The Application of Forman Equation for Fatigue Crack Propagation in Welding Residual Stress Region, J. of the KWS, 5-1 (1987), 42-56
2. Yong Bok Lee, Chin Sung Chung, Young Keun Park and Ho Kyung Kim : Effect of Redistributing Residual Stress on the Fatigue Behavior of SS330 Weldment, Int. J. Fatigue, 20-8 (1998), 565-573
3. P. Paris and F. Erdogan : A Critical Analysis of Crack Propagation Law, J. of Basic Eng., Trans. of ASME, 8 (1963), 528-534