

용접부 강도특성 미치는 후처리 영향 Effects of post treatment on the fatigue strength of weldment

김 현수, 박 윤기, 윤 중근

* 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

ABSTRACT Effects of the post treatment on the fatigue strength of a bead-on-plate weldment were investigated in order to improve fatigue strength of the weldment. The post treatment applied were the grinding of weld toe and hammer peening at the weld toe. The fatigue strength of the weldment after post treatment increases. It is attributed to the decrease of the residual stress and the maximum stress at the weld toe by the post treatments. Based on the result, the principal factor controlling the fatigue strength of the weldment was identified as the toe shape of the bead-on-plate weldment.

1. 서 론

강 구조물의 조업도중 발생하는 문제점 중 대표적인 것이 반복 하중에 의한 피로 손상이다. 선박의 경우에는 파도, 엔진이나 프로펠러에서 발생하는 진동 등과 같은 동적 하중으로 인하여 구조적 불 연속부 즉, 응력 집중이 발생하는 곳에서는 피로 균열이 발생되어 전파된다. 그러나, 동일한 구조적 불 연속부일지라도 용접부에서의 피로 수명은 매우 짧다고 알려져 있다. 이는 용접부에는 용접 toe부에서의 응력 집중 뿐 아니라 피로균열 개시에 큰 영향을 미치는 undercut과 같은 초기 결함 및 인장 잔류 응력의 존재에 기인된다고 알려져 있다. 따라서, 구조 용접부의 피로수명을 향상시키기 위해서는 주어진 외부 하중 조건 하에서 용접부에서의 국부 응력 집중을 최소화하는 방법과 용접부 toe부에서의 초기 결함 제거 혹은 용접부에 압축 잔류 응력의 형성시키는 방법 등을 적용하는 것이 바람직하다.[1,2]

일반 구조물의 구조적 불 연속부에 대한 피로 강도는 일반적으로 피로 균열 발생 예상부에서의 응력 집중 계수를 고려하면 피로 강도를 예측할 수 있다. 그러나 용접부와 같이 비드 형상에 따른 응력 집중 및 용접 잔류 응력이 중첩 작용하는 경우 피로 강도의 예측은 단순하지 않으며, 본 연구와 같이 용접부에 후처리를 적용하는 경우 더욱 응력 집중 및 잔류 응력의 영향에 대한 평가가 필요하다. 그리고, 기존에 용접 잔류 응력을 고려하여 피로 강도를 예측하는 방법들이 제안되어 왔으나, 변동 하중하에서 잔류 응력의 재

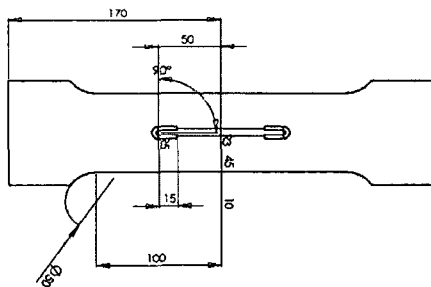
분포 거동에 대한 데이터 부족 및 계산상의 어려움으로 인하여 아직 그 적용 범위는 매우 제한적이다. [3,4]

따라서, 본 연구에서는 용접부의 구조적 응력 집중의 영향을 최소화하고, 용접부의 국부적인 응력과 잔류 응력이 용접부 피로 강도에 미치는 영향을 규명하고자 ASTM A36 강재의 bead-on-plate 용접 시편을 제작하고 후처리에 따른 피로 특성을 평가하였다.

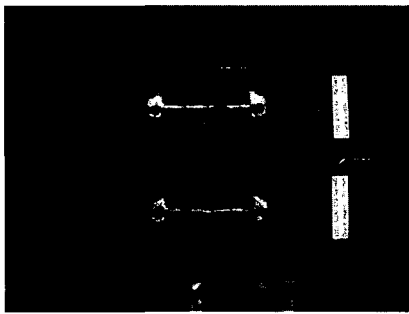
2. 시험 방법

본 연구에 사용된 강재는 두께 10mm의 선급 용 강재인 A36으로 최저 항복 강도 및 인장 강도는 각각 36와 50kgf/mm²이며, 피로 시험편은 Fig. 1과 같이 FCA 용접으로 2 패스 용접을 실시하여 제작하였다. 이때, 적용한 후처리 방법은 용접 비드의 toe grinding (T.G.) 및 hammer peening (H.P.)이며, T.G.는 3mm 직경의 연마석으로 H.P.는 6mm 직경의 톨을 이용하여 AWS D1.1 규정에 따라 제작하였다.

용접부에서의 응력 집중을 평가하기 위하여 유한 요소법과 정적 인장 하중 하에서 strain gage를 이용한 응력계측을 실시하였다. 피로시험편은 기본적으로 Fig. 1과 같이 제작하여 상온에서 R=0.1의 조건으로 피로시험을 실시하였다. 피로수명은 피로균열이 시편 폭의 20mm이상 진전하였을 때의 수명으로 하였다.



(a) Dimension of specimen (unit:mm)



(b) General view

Fig. 1 Bead-on-plate weldment for fatigue test

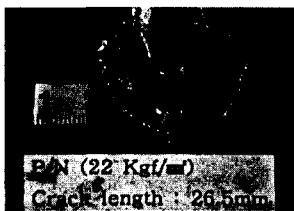
3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 피로시험 후 bead-on-plate 용접부에서 발생한 피로 파단 양상을 후처리 방법별로 보여 주고 있다. Fig. 2와 같이 피로 균열은 모드 투우 및 용접 토우 후처리부에서 발생 전과하였다.



(a)As-weld

(b)Toe grinding,



(c)Hammer peening

Fig. 2 Fatigue crack profiles for specimen:

Fig.3은 bead-on-plate 용접부의 피로 강도에 미치는 후처리의 영향을 도시한 것이다. Fig. 3과 같이 후처리된 bead-on-plate 용접부 피로강도가 as-welded에 비하여 높고 A/S<H.P<T.G 순으로 증가함을 알 수 있다. 후처리에 따른 피로 강도 특성 변화를 규명하기 위하여 후처리에 다른 잔류 응력 분포와 용접 toe부에서 응력 집중 계수를 유한 요소 해석 및 실험을 이용하여 평가하였다.

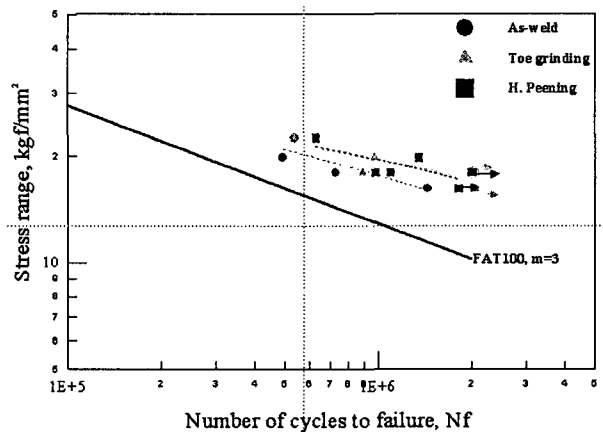


Fig. 3 Effect of post treatment on the fatigue strength of bead-on-plate weldment

Fig. 4는 후처리에 따른 잔류응력 해석결과를 도시한 것이다. Fig. 4와 같이 A/W 시편에서 toe에 작용하는 최대 인장 잔류 응력은 거의 모재의 항복 응력 수준인 약 21 kgf/mm²인 반면에 T.G.와 H.P.를 실시하는 경우 toe부에서 잔류 응력은 각각 14.8kgf/mm²와 -13.6 kgf /mm² 감소함을 알 수 있다. 즉, 후 처리후 용접 toe부에서의 잔류 응력은 A/W>T.G.>H.P. 순으로 감소한다. Fig. 5는 용접 toe부에서의 응력 집중 계수에 대한 계측 결과를 도시한 것이다. Fig. 5와 같이 용접 toe에서의 국부 응력은 A/W>H.P.>T.G. 순으로 감소하고 있으며, 이는 Fig. 3의 피로강도와 반비례 관계를 보이고 있다.

이상의 결과로부터 후처리에 따른 용접부의 피로 강도 증가는 용접 toe에서의 잔류 응력의 감소와 형상 개선에 따른 국부 응력 감소에 기인함을 알 수 있다. 그리고, 용접부 피로강도는 평균응력으로 작용하는 잔류응력의 효과보다는 응력진폭에 영향을 미치는 응력 집중에 의한 효과가 더 큼을 알 수 있다.

참고문헌

1. P.J. Haagensen : Measurement of GMAW Bead Geometry Using Biprism Stereo Vision Sensor, Journal of KWS, 19-2 (2001)atical Theory of Heat Distribution during Welding and Cuttin, 200-207 (in Korean)
2. I. Huther et. al.: IIW document XIII-1601-95
3. F.V. Lawrence et. al : Influence of residual stress on the predicted fatigue life of weldments
4. Tso-Liang Teng et. al : Effect of weld geometry and residual stresses on fatigue in butt-welded joints, Int. Journal of pressure vessels and piping, 2002, pp. 467-482

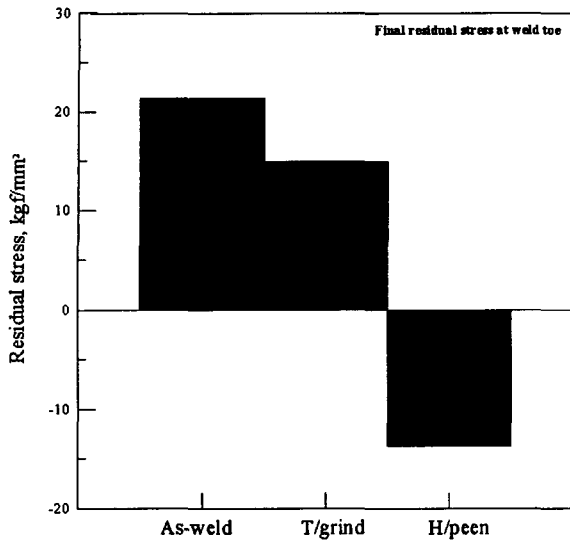


Fig. 4 Max. residual stress at weld toe of bead-on-plate weldment after post treatment

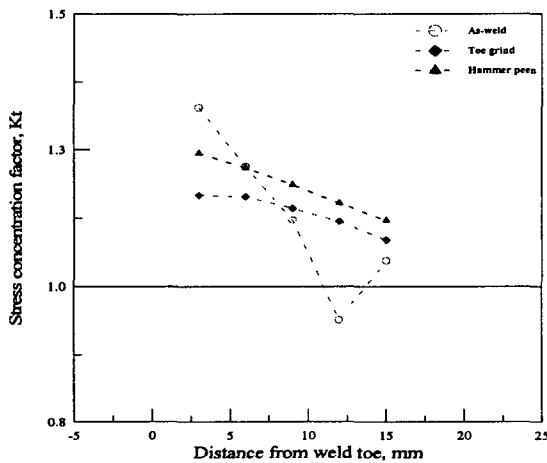


Fig. 5 Stress concentration factors at weld toe of bead-on-plate weldment after post treatment

4. 결 론

후처리에 따른 bead-on-plate 용접부 피로강도에 대한 응력 집중 및 잔류응력의 영향을 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) As-welded에 비하여 후처리 시편의 피로강도는 토우부 형상 개선 및 인장 잔류 응력의 감소로 인하여 증가한다.
- 2) 용접부 피로강도는 잔류응력의 영향보다는 응력집중에 의한 영향이 더 크다.