

주강과 연강간의 SAW 용접부 피로 특성에 미치는 PWHT의 영향

Effect of PWHT on Fatigue Strength of Weldments between steel casting and mild steel

황 주 환, 신 상 범, 윤 중 근
현대중공업(주) 산업기술연구소

1. 서 론

용접 구조물은 arc에 의한 열 cycle로 인해 냉각시 잔류응력 및 조직상의 불연속부를 수반하게 되며, 용접부에서 형상 자체에 의한 기하학적인 불연속부를 수반하게 된다. 이러한 불연속부의 존재는 구조 부재에 외부 하중이 작용하는 경우 응력 집중원으로 작용하여 피로 강도 저하를 초래한다. 더우기 용접부에 인장 잔류응력이 존재하는 경우, 외부의 하중과 중첩되어 피로 균열의 발생 및 전파가 용이하고, 취성과 파괴의 우려로 인해 용접 후 열처리(Post Weld Heat Treatment : PWHT)나 기계적 응력 이완(Mechanical Stress Relieving : MSR)등을 통해 잔류응력을 제거하기 위한 추가공정이 추천되고 있다. 그러나, 용접부의 피로 특성에 미치는 잔류응력이 효과에 대해서는 종래부터 많은 논란이 되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 엔진의 진동으로 피로 손상이 용이한 엔진의 지지 구조물인 bed plate인 주강과 연강간의 SAW 용접부를 대상으로 하여, 잔류응력 및 기하학적 형상이 용접부의 피로 특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 실 험

본 고에서 주강(SPCH21)과 연강(SS41)의 SAW 용접부에 대한 피로 시험은 30ton 피로시험기를 이용하여 수행하였으며, 하중의 형태는 tension to tension의 sine wave로, 응력비(R)는 0.1로 하였으며, 피로 시험은 Bead-on과 Bead-off 시험을 모두 사용하였다. 이때 사용된 모재의 화학 조성 및 기계적 성질은 Table 1과 2와 같다.

잔류응력에 의한 용접부 피로 특성의 평가시 PWHT (625°C에서 1시간)의 유무 및 시험의 가공 조건(saw cutting, milling)등에 따른 용접부 잔류응력의 이완 정도를 HDM (Hole Drilling Method)을 이용하여 측정하였다.

Table 1 Chemical composition of SPCH21 and SS41

| | C (Max) | Si (Max) | Mn | S (Max) | P (Max) | Cr | Mo |
|---------|------------|-------------|---------|------------|------------|-------|-----------|
| SPCH 21 | 0.2 | 0.6 | 0.5~0.8 | 0.04 | 0.04 | 1~1.5 | 0.45~0.65 |
| SS41 | . | . | . | 0.05 | 0.05 | . | . |

Table 3 Mechanical properties of SPCH21 and H14 X S787

| | TS | YS | Elong. (%) |
|--------|--------------------|-------|---------------|
| | kg/mm ² | | |
| SPCH21 | 41~51 | 21~20 | 26~25 |
| SS41 | 41~49 | 21~20 | 23(Min) |

3. 결과 및 고찰

3.1 잔류응력

용접부 잔류응력의 측정 결과 Fig. 1에 도시한 바와 같이 As-weld condition의 경우 용접부에는 용착금속의 항복 강도의 수준인 50kg/mm²의 인장 잔류응력이 존재하였으며, 기계 가공시 이완되는 잔류응력은 saw cutting의 경우 그 정도가 미비하였으나, 용접 bead를 제거하기 위한 milling 가공시 이완 정도는 거의 40%에 이르렀으며, PWHT의 경우 Fig. 1과 같이 용접부에 발생한 잔류응력은 거의 모두 이완되어 용접부에 잔류응력이 거의 존재하지 않았다.

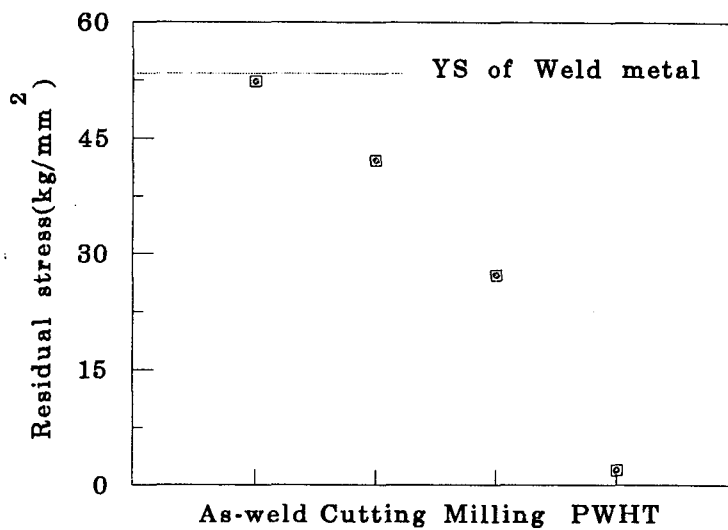


Fig. 1 Effect of machining and PWHT on the maximum residual stress

3.2 용접부 피로 특성

PWHT에 의한 영향 즉, 용접부 잔류응력의 유무에 따른 주강과 연강간의 용접부의 피로 특성을 Fig. 2에 도시하였다. 용접부의 피로 강도는 잔류응력의 존재 유무에 따라 큰 차이를 보여주지 않고 있거나 오히려, 잔류응력 제거를 위한 PWHT의 공정을 거친 용접부의 피로 수명이 감소하였다. 이는 용접부에 존재하는 잔류응력의 경우 반복하중(cyclic loading)에 의해 국부적인 소성 변형이 수반되어 잔류응력이 재분포되거나 이완되었기 때문이며, PWHT의 공정 후 피로 수명의 감소는 PWHT후 용접부의 인장강도의 감소에 기인한 것이다. 한편, 용접 bead의 존재 유무에 따른 용접부 피로수명에 있어서 큰 차이를 보여 주고 있는데, 이는 용접 toe부에서 발생된 응력 집중의 효과에 기인한다. Fig. 2에서 용접부의 피로강도는 잔류응력보다는 용접부 형상에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

용접부의 피로 균열의 발생위치는 용접 bead가 존재하는 경우 응력집중부인 용접 toe부에서 발생하여 용접부를 따라 전파하였으며, 응력 집중원이 존재하지 않는 즉 용접 bead를 제거한 경우에는 모재인 주강에서 피로 균열이 발생하여 전파되는데, 주강 자체의 고유 결함으로 인하여 연강인 SS41이나 용착금속에 비해 취약하기 때문이다.

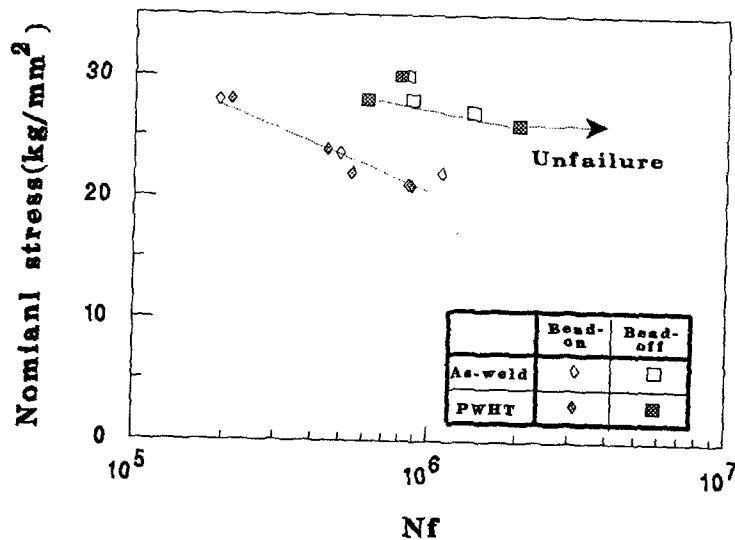


Fig.3 S-N diagram of the weldments between SPCH21 and SS41

3. 결론

주강과 연강간의 SAW 용접부의 피로 특성에 미치는 잔류응력 및 기하학적 형상의 영향을 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접부에 존재하는 인장 잔류응력은 반복하중으로 인해 재 분포되거나, 이완됨으로써 용접부의 피로 수명에 미치는 영향은 매우 미비하게 된다.
2. 용접부 피로 강도의 지배인자는 잔류응력이라기 보다는 용접부의 기하학적 형상 즉, 용접 bead의 형상이다.