

A5083-O MIG용접부의 표면균열성장특성

*조 상명, 김 석주, 엄 철홍, 김 영식 (한국해양대학교)

1. 서 언

용접구조물의 피로파괴 안전성 평가에 대한 요구는 LNG선과 같이 안전성 확보가 가장 중대한 설계사상으로 되어있는 구조물에 대해서는 엄격하게 적용된다. 따라서 설계단계에서 주요용접구조물에 대한 피로강도평가 및 피로균열성장수명의 평가를 구체적으로 실시하여 구조물이 설계수명동안 확실히 안전함을 확인하여야 하며, 이것이 가장 핵심적인 설계기술의 한 분야이다.

본 연구에서는 Mg계 알루미늄합금 A5083-O 용접구조물에 있어서 피로균열의 판두께 관통수명을 평가할 때 요구되는 용접토우부에서 성장하는 표면균열을 대상으로 하였다. 이 표면균열의 성장에 따른 형상의 변화와 관통수명에 미치는 용접토우부의 응력집중의 영향을 검토하였다.

2. 시험편 및 실험조건

Fig.1은 A5083-O MIG용접부에 존재하는 얇고 긴 표면결함(예를들면, 언더컷, 불용착부 등)을 가정해서 표면노치를 가공하여 표면균열전파시험을 행한 시험편과 초기의 표면노치형상을 나타낸다. (a)는 모재(Base Metal)와 용접후 표면비드를 제거하고 열영향부(HAZ)에 표면노치(길이16mm, 깊이1mm)를 가공한 것이다. (b)는 표면비드를 그냥 두고 뒷면만을 절삭하여 두께를 10mm로 한후 용접토우부에 표면노치를 가공한 것이다. 이와 같이 시험편으로서 같은 조건에서 표면균열의 전파거동에 미치는 표면비드 응력집중의 영향을 평가할 수 있게 하였다.

피로시험은 응력비R=0.5로 실온의 대기중에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

LNG선의 화물탱크에서와 같이 LBB(Leak Before Break)개념을 용접구조물설계에 도입하도록 규정되어 있는 경우는 용접이음부의 표면균열성장기동용 구조물 설계단계에서 평가하여 균열의 판두께 관통수명을 파악하여야 한다. 이 때 필요한 재료에 관한 자료로서는 해당재료의 피로균열전파특성을 나타내는 계수C, 지수m, ΔK_{th} 등이다. Fig.2는 이러한 재료상수를 얻기 위해서 모재CT시험편을 이용하여 시험한 결과를 나타낸 것이다.

Photo.1은 표면균열의 형상변화를 파악하기 위하여 피로파면에 줄무늬(Beach mark)를 삽입하여 얻은 것이다. 즉 표면균열의 성장에 따른 형상변화는 이 줄무늬를 측정하여 평가할 수 있다. 평활시험편의 경우 처음에는 얇고 긴 노치였으나 초기에는 깊이방향으로 빨리 성장하다가 나중에는 표면방향과 깊이방향의 속도가 거의 비슷하게 됨을 알 수 있다. 그러나 용접토우부에서 성장하는 표면균열은 표면방향으로 빨리 성장하므로 관통시에 표면방향의 균열길이c가 상당히 크게 나타났다.

Fig.3은 표면균열의 형상변화를 정량적으로 평가하여 나타낸 것이다. 평활시험편인 BM과 HAZ는 거의 같은 형상으로 전파한다. 여기서 TOE1은 표면비드를 그냥둔 것이고, TOE2는 용접토우부만을 등갈게 연삭하여 응력집중이 완화되도록 한 것이다. 따라서 TOE2의 결과는 평활한 BM과 HAZ의 a/c값에 접근하고 있다.

Table 1은 초기표면노치를 가진 시험편에서 표면균열이 판두께를 관통하는데 소요되는 반복회수 즉 판두께 관통수명 N_p 를 실험에 의하여 얻은 것이다. 모재와 열영향부(HAZ)에서의 N_p 보다 표면비드가 있는 TOE시험편에서의 N_p 가 짧다. 여기서 토우부를 연삭하여 응력집중을 완화시킨 TOE2에서는 N_p 가 TOE1보다 다소 증가한다. 그러나 비교적 크고 동일한 크기의 초기결합이 이미 존재해 있는 경우는 토우부의 응력집중이 균열관통수명에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 본 실험에서와 같이 초기의 큰 결함이 존재하지 않는 건전용접부에서는 용접비드 제거, 토우부연삭, 토우부 TIG드레싱 등과 같은 후처리효과는 보다 크게 나타날 것이 예상된다.

4. 결 언

A5083-O용접구조물의 피로파괴 안전성평가 분야에 있어서 핵심요소기술인 용접토우부에 존재하는 표면균열의 성장특성을 평가하였다. 용접토우부에서 성장하는 표면균열은 비드의 응력집중에 의한 영향으로 표면방향길이 c 가 깊이방향길이 a 에 비하여 크게 성장하는 특성을 보였다. 또한 평활판재에 비하여 표면비드가 존재하여 응력집중이 생기는 경우는 그 영향으로 토우부 표면균열의 판두께 관통수명이 감소하는 경향을 보인다. 그러나 토우부를 연삭하여 응력집중을 완화시킨 경우는 그 효과가 관통수명에 그다지 크게 반영되지 않는 것으로 판단된다.

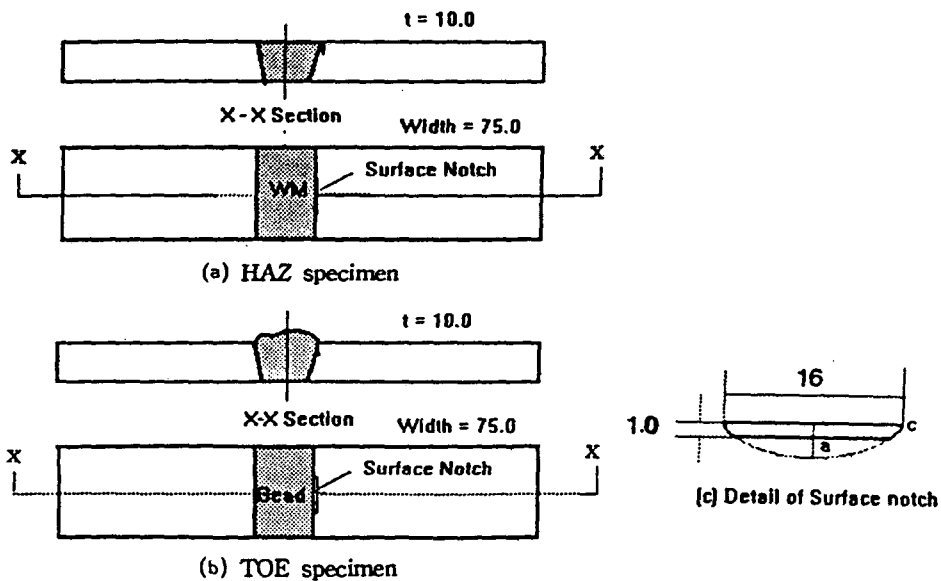


Fig. 1 Configuration of specimens and initial notch

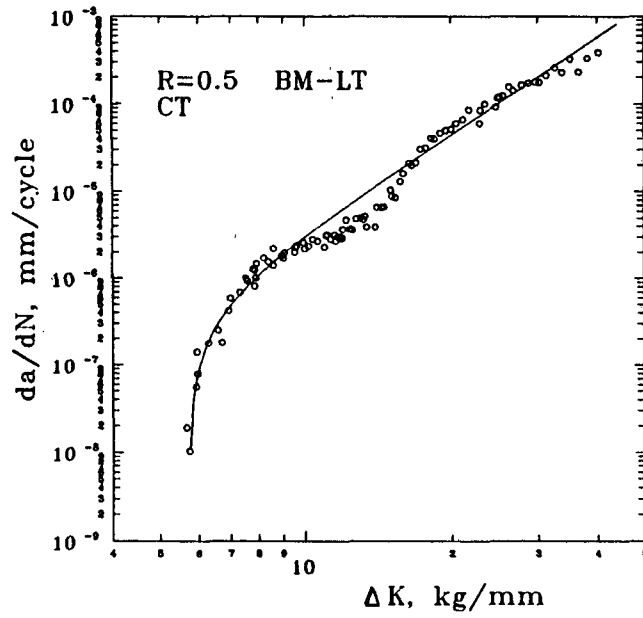
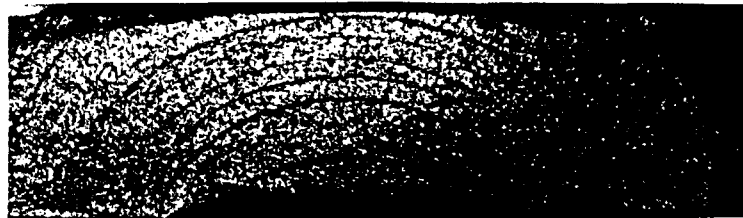
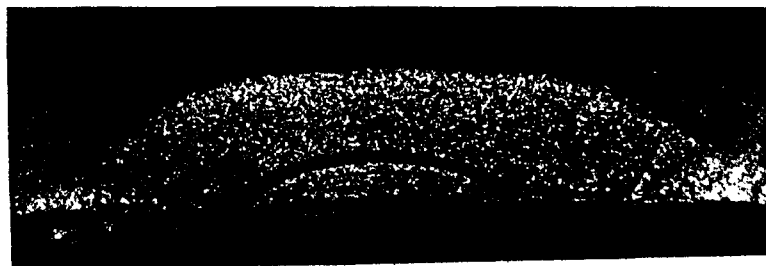


Fig. 2 Relation of $\Delta K - da/dN$ for A5083-O ($R=0.5$)



(a) Fractured surface of HAZ



(b) Fractured surface of TOE1

Photo. 1 Beach marks on fractured surface

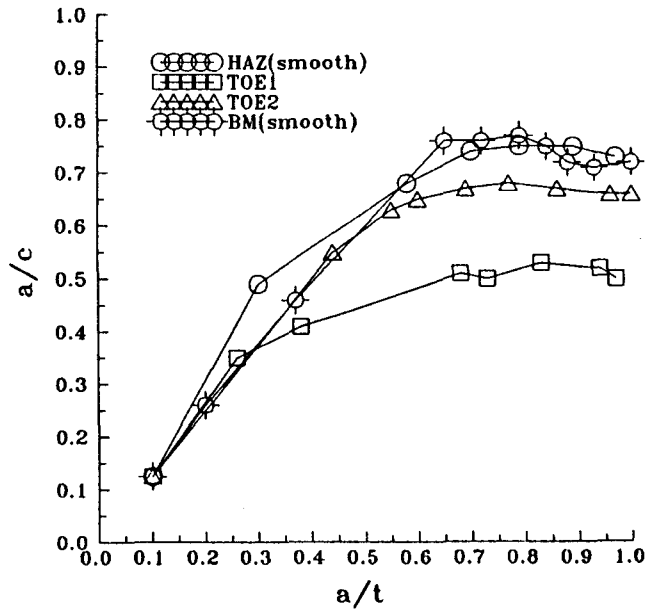


Fig. 3 Variation of surface crack shape

Table 1 Number of cycle (N_p) to the penetrate plate thickness (10mm)

Specimen	Stress concentration	$\Delta \sigma$ (MPa)	N_p (cycle)
Base Metal	Kt=1.0	62.3	343,448
HAZ	Kt=1.0	63.7	175,469
TOE 1	Kt=1.7	63.7	91,793
TOE 2	Kt=1.2	63.7	101,072