

부식제어 하에서 고 장력강 용접부의 SCC특성 평가

Evaluation of Stress Corrosion Cracking Damage for the Weldment of High Strength Steel

나 의 균* · 고 승 기* · 유 효 선** · 김 훈***

* 군산대학교 기계공학부

** 전북대학교 기계공학부

*** 여수대학교 기계공학부

1. 서 론

응력부식균열은 기계적인 인자, 전기화학적 인자 및 야금학적 인자 등에 의해 영향을 받게 되며, 그 중에서도 전기화학적 인자가 가장 지배적인 인자로 작용하게 된다.¹⁾ 이와 관련하여 정해진 부식 환경에서 외부로부터 적절한 크기의 전위를 가해주어 부식속도를 조절함으로써 응력부식균열에 의한 손상을 명확하게 제어할 수 있다고 볼 수 있다. 부식환경 하에서 사용 기기와 구조물의 파괴과정을 제어함으로써 경제적인 효과를 극대화하고, 사용구조물의 건전성을 보증한다는 데 기여할 수 있다는 점에서 볼 때 반드시 행해져야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 파괴제어설계의 개념에 기초를 두어 해수환경에서 고장력강 용접부를 대상으로 인위적인 방법에 의해 응력부식균열의 부식속도를 적극적으로 제어하여 응력부식균열에 의한 손상의 정도를 평가하고, 응력부식환경 하에 놓여 있는 용접부의 SCC의 감수성을 둔화시키는 방법을 모색하고자 한다. 이와 더불어 주사전자현미경에 의해 파단면을 분석하여 어떠한 파괴기구에 의해 응력부식균열현상이 발생하였는지를 고찰하여 응력부식 하에서 고 장력강 용접구조물의 설계시 기초가 되는 자료를 얻고자함이 본 연구의 최종 목표이다.

2. 실험 방법

2-1. 공시재 및 용접

본 실험에 사용된 재료는 두께 16mm의 고 장력강(HT-60)이며, 용접은 두꺼운 판재의 자동 용접방법으로서 많이 이용되고 있는 잠호용접을 압연방향과 직각방향으로 실시하였다. 용접 후 열처리(post weld heat treatment: PWHT) 시험편을 얻기 위하여 용접판을 대상으로 후 열처리를 실시하였다. 열처리 조건은 열처리 온도 7800C에서 1시간 풀림 후 4시간동안 노내에서 서냉시켰다. 용접된 판재에서 시험편의 채취는 Fig. 1과 같이 용융선(fusion line)이 시험편의 정 중앙에 위치하도록 하였고, 시험편의 규격과 형상은 직경이 4mm인 인장형으로 하였다.

2-2. 부식제어 하에서 SCC 실험

부식조와 시험편 및 각종 전극의 조합을 Fig. 2에 개략적으로 나타내었다. 전위차계(potentiostat)는 Princeton Applied Research Model 273계를 이용하였으며, 시험편을 작용전극(working electrode), 대극으로서 탄소봉을 이용하였으며, 기준전극은 포화 calomel전극(saturated calomel electrode: SCE)으로 하였다. 가해진 전위는 전보의 부식특성 실험에서 얻어진 결과를 참고하여 결정하였다.²⁾ 우선 모재의 경우 양극분극곡선(anodic polarization curve)의 범위에 해당하는 -0.5V와 음극분극의 영역에 해당하는 -0.6V, -0.8V, -1.1V를 가하였으며, 용접재와 후 열처리재의 경우에는 자연전위의 부근에 -0.6V

와 음극전위의 영역의 전위값인 -0.8V, -1.0V -1.1V를 각각 가하였다. 용력부식균열실험은 저 변형을 시험기를 이용하였으며, 실험이 진행되는 동안 온도를 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위를 유지하도록 하였고, pH는 7.5로 일정하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 부식특성 및 모재의 SCC 거동

부식특성의 평가는 Tafel실험법을 택하였으며, 소정의 음극분극전위로부터 양극분극전위로 까지 스캔(scan)시켜 얻어내었다. 표 1은 전기화학적 분극실험에서 얻어진 부식특성치를 정리하여 놓은 것이다. 표에서 부식특성치를 살펴보면, 부식율(corrosion rate)은 1년 동안에 어느 만큼의 부식이 진행되는가를 나타내는 척도이고, E_{corr} 은 부식용액에 시험편이 잠긴 상태에서 평형에 이르렀을 때에 해당하는 전위차이며, I_{corr} 은 분극실험에서 얻어진 곡선에서 Tafel방정식이 성립하는 구간 즉, 음극범위 및 양극범위에서 직선부를 연장했을 때 교차하는 점에 해당하는 전류치이다.

Fig. 3은 변형율이 $10^{-5}/\text{sec}$ 에서 모재의 전위값과 파단시간과의 관계를 보인 것이다. 양극전위에 해당하는 -0.5V에서는 파단시간이 137,843초, -0.6V에서는 147,600초이고, -0.8V에서는 207,720초이며, 그리고 -1.1V에서는 160,320초로서 -0.8V에서 가장 긴 파단시간을 보였다. 양극전위인 -0.5V에서 파단시간이 현저하게 줄어든 것은 시험편이 작용전극으로 기능하면서 시험편의 표면 전반에 걸쳐서 용해(dissolution)이 활발하게 진행되고, 여기에 저 변형속도로 인장하중이 증가되면서 가해지기 때문이다.³⁾ 이와 같은 결과로부터 HT-60강재의 경우, 첫째 부식제어에 의해 용력부식균열을 받는 부재의 파단수명을 증가시키기 위해서는 양극분극전위에 해당하는 전위값을 피해야 한다는 것이고, 둘째 -0.8V에서 최적의 방식효과를 보였다는 점이다. 기존의 연구에 의하면 철강재료의 경우 방식효과는 양극분극전위를 이용하는 법이 있다고 보고되고 있다. 양극분극전위에 의해 방식효과를 내기 위해서는 스테인리스 강 정도에 해당하는 만큼 Cr과 Mo, Ni의 양이 존재하여야 가능하다고 생각된다. 왜냐하면 Cr과 Mo, Ni의 양이 많아질수록 한계전류밀도가 작아지기 때문에 부동태 피막(passive film)이 시험편의 표면에 용이하게 형성되어 부식반응을 억제하는 효과가 있기 때문이다.⁴⁾

3-2. 용접재 및 후 열처리재의 SCC 거동

모재의 경우 양극분극전위에 해당하는 전위값을 가해주었을 때 용해기구에 의해 부식이 빠른 속도로 진행되기 때문에 순수한 의미에서의 SCC에 의한 파단이 일어나지 않았다. 따라서 용접재 및 후 열처리재에 가해진 전위는 음극분극곡선영역에 해당하는 전위값 즉, -0.6V, -0.8V, -1.0V 및 -1.1V만을 택하였으며, 변형율은 $10^{-6}/\text{sec}$ 로 하였다. 변형율을 $10^{-6}/\text{sec}$ 로 한 것은 용접재의 경우 $10^{-6}/\text{sec}$ 에서 용력부식균열의 감수성이 가장 심하게 나타났기 때문이다.⁵⁾

Fig. 4는 용접재와 후 열처리재를 대상으로 변형율이 $10^{-6}/\text{sec}$ 에서 하중과 파단시간의 의존성을 보인 것이다. 가해진 전위값이 -0.6V에서 파단수명은 715,809초, -0.8V에서는 623,880초이고, -1.0V에서는 597,536초이며, -1.1V에서는 580,200초로서 -1.1V에서 가장 파단시간이 짧았다. 이와 같은 결과로부터 가해진 전위값이 -0.6V에서 가장 긴 파단시간을 보였다는 점에서 실제 현장에서 정해진 부식환경에서 용력부식균열을 받는 부재의 수명을 연장시키기 위한 부식 제어값으로서 -0.6V가 가장 최적의 전위값이라고 할 수 있다.

Fig. 5는 후 열처리재의 용력부식결과이다. 후 열처리재의 경우 단면수축율은 -0.6V에서 50.1%이고, -0.8V에서는 47.4%, -1.0V에서 44.3% 그리고 -1.1V에서는 41.3%로서 앞선 용접재에 비하여 전반적으로 가해진 전위값에서 수축율이 증가하였다. 이는 후 열처리에 의해 변형능력이 향상되었음을 의미하여 앞선 용접부의 경도분포로부터 후 열처리재의 경도치가 용접재에 비해 낮았고 연화(softening)에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 결과를 볼 때 방식전위를 걸어준 경우에도 후 열처리를 실시함에 따라 변형능력이 용접재에 비해 증가하고 있다는 점에서 후 열처리가 용력부식균열의 감수성을 감소시키는데 유효하다는 것을 입증하여 주는 것이다

-1.1V에서 단면수축율이 가장 작은 것은 수소 취화에 기인하는 것으로 생각된다. 즉, 환원반응에 의해 발생하는 수소가스는 저 변형실험이 실시되는 과정에서 시험편의 표면에 흡수되며, 수소가스의 발생여부는 저 변형실험도중 시험편의 표면에 기포(bubble)의 존재로 확인 할 수 있었다. 또한, 후 열처

리재의 경우에도 인공해수 중에서 SCC에 대한 최적의 부식제어전위치는 -0.6V이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 HT-60강재의 용접재 및 후 열처리재를 대상으로 부식제어 하에서 저 변형율실험에 의해 응력부식균열실험을 실시하고 난 다음, 응력부식균열의 감수성을 평가하였다. 얻어진 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 모재의 경우, 가해진 전위값이 -0.8V에서 가장 좋은 방식효과를 보였으며, 용접재의 경우에는 다. -0.6V에서 파단시간이 715,809초이었고, -1.1V에서는 580,200초로서 가장 파단시간이 짧은 결과를 보였다. 이로부터 용접재의 경우 가해진 전위값이 -0.6V에서 가장 좋은 방식효과를 보였다.
2. 용접후 열처리재의 전위값의 의존성은 -0.6V에서 수축율은 50.1%이고, -0.8V에서는 47.4%, -1.0V에서 44.3% 그리고 -1.1V에서는 41.3%로서 앞선 용접재에 비하여 후 열처리에 따른 연화(softening) 현상으로 인해 전반적으로 정해진 전위값에서 단면수축율이 증가하였다.
3. 전위값이 -0.6V에서 용접재의 부식율이 29.13mpy이고, 파단수명이 715,809초인데 반해, 후 열처리재의 부식율은 18.64mpy, 파단수명은 1.83842E6초로서 후 열처리를 실시함에 따라 부식율이 감소하였으며 파단수명은 현저히 증가하는 결과를 보였다.

참 고 문 헌

- 1) Brown B. F., "A Preface to the problem of stress corrosion cracking," ASTM STP 518, pp. 3 ~15, 1972
- 2) Na Eui Gyun et, al "Study on corrosion characteristics and stress corrosion cracking of the weldment for HT-60 steel in synthetic seawater," 2000, KSME International Journal, Vol. 14, No. 2, pp. 152~158
- 3) 나 의 균, 고 승 기, "고장력강 용접부의 AE신호해석을 통한 SCC의 Modelling," 대한기계학회 1999년도 추계학술대회논문집 A, pp. 737~742
- 4) 손 운 택 저, 금속부식학, pp. 114~119
- 5) 안 용 택, "저 변형율법에 의한 HT-60강 용접부의 응력부식균열특성에 관한 연구," 군산대학교 석사학위논문, 1998

Table 1 Corrosive parameters from Tafel's curves

	Corrosion rate (m py)	E (I=0)	I _{corr} (μ A)	O C V (10 ⁻³)
A s - w e l d	29.13	-696.6	65.4	-666
P W H T	18.64	-682.5	41.85	-604
P a r e n t	19.45	-684.8	43.67	-605

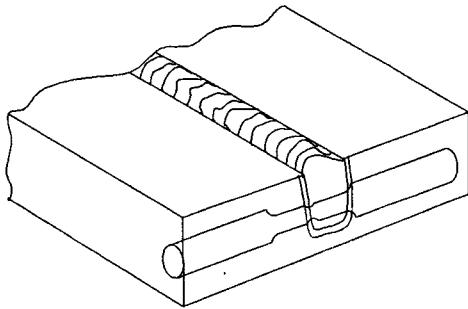


Fig.1 Extraction of specimens from the welded plate

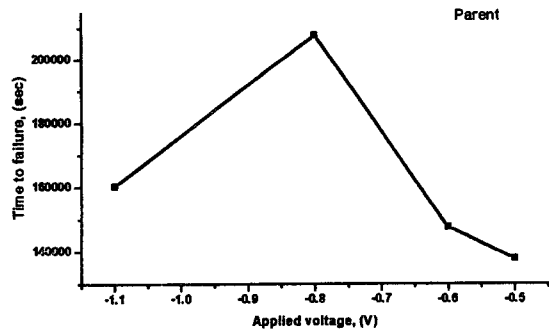


Fig. 3 Relations of applied voltage and time to failure for the parent at $10^{-5}/\text{sec}$

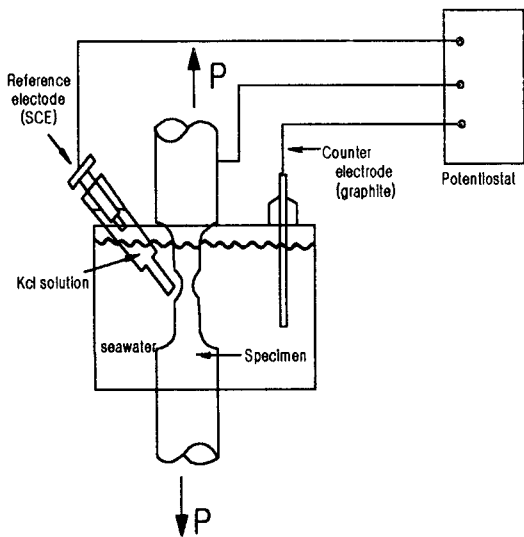


Fig.2 Specimen setting for SCC testing

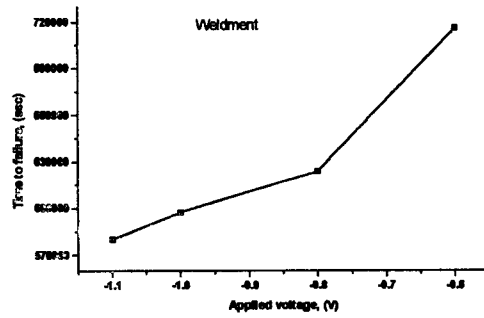


Fig. 4 Relationship between applied voltage and time to failure for the weldment at $10^{-6}/\text{sec}$

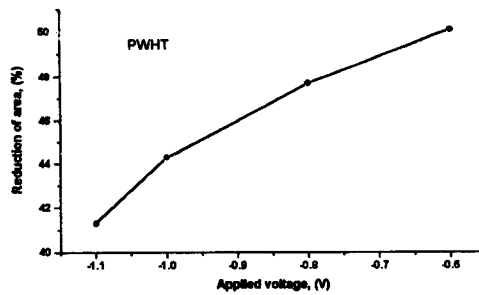


Fig. 5 Relationship between applied voltage and time to failure for the PWHT specimens at $10^{-6}/\text{sec}$