

재부동태 속도론에 의한 합금 690의 응력부식균열 민감도 예측
Prediction of SCC susceptibility of Alloy 690
in terms of repassivation kinetics

안세진* , 권혁상 (한국과학기술원)

1. 서론

증기발생기는 2차측에서 터어빈을 구동하기 위한 증기를 발생시키는 열교환기로 1차측의 원자로 냉각수를 열원으로 하며, 1차측 압력경계중 50% 이상의 큰 면적을 차지하고 있다. 증기발생기 세관 재료로는 오스테나이트계 니켈기지 초내식성 합금인 합금 600이 국내외적으로 가장 많이 사용되어 왔으나 다년간 가동중 입계응력부식균열, 입계부식, 핏팅, 덴팅 등 다양한 형태의 결함이 관찰되어 이를 대체할 합금으로 합금 600 보다 Cr 함량을 2배 이상 증가시킨 합금 690이 개발되었다. 그러나 합금 690의 경우 가동경험이 부족하여 합금의 수명과 안정성이 아직 검증되지 않았으며 평가방법 또한 확립되지 못한 상태이다. 선행 연구결과에 따르면 합금 600의 응력부식균열 민감도는 전기화학적 방법인 Modified EPR 시험법으로 비교적 정확히 예측할 수 있었으나 Cr 함량이 높은 합금 690에는 적용할 수 없어 새로운 평가방법 개발이 필요하다. 세관재료의 입계부식 및 입계응력부식은 Cr 고갈로 인한 예민화도 (degree of sensitization, DOS) 와 P, S 등과 같은 불순물의 입계 편석 등에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 합금 690의 SCC 저항성은 시효시간에 따라 크게 변하는데, 이는 Cr 이 입계에 탄화물로 형성되면서 고갈, 재분포되어 시효조건에 따라 부동태 피막의 파괴, 금속의 용해, 피막의 재생성(재부동태)반응 등이 변하기 때문이다. 따라서 합금 690의 SCC 현상을 이해하기 위해서는 재부동태 거동에 대한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 굿기 전극 시험법을 이용하여 합금 690의 재부동태 거동을 관찰하고, 이를 토대로 합금 690의 재부동태 거동과 SCC 저항성과의 상관관계를 도출하고자 하였다.

2. 실험방법

예민화 처리가 염화물 분위기에서 합금 690의 재부동태 거동에 미치는 영향을 평가하기 위해 다음과 같은 시편을 준비하였다. 합금 690 시편을 1150 °C 에서 1시간 동안 용체화 처리한 뒤, 700 °C 에서 각각 1, 5, 10, 15, 20, 50 시간동안 시효처리하여

예민화 정도를 다르게 하였다. 탈기된 1 M MgCl₂ 에 시편을 침지하여 안정한 부식전위에 도달하게 하고, 양극분극시험에서 결정한 부동태 영역의 전위를 20 분간 가해 정상상태에 이르게 한 후 굿기 전극 시험을 수행하였다. 전류는 1 msec 간격으로 측정하였고 스크래치 부분에서만 반응이 일어났다고 간주하여 전류밀도를 계산하였다. 스크래치 면적은 광학현미경 사진으로부터 측정하였다.

3. 결과요약

1. 중성 염화물 분위기에서 합금 690의 피막이 파괴된 후 일어나는 재부동태 반응은 두 개의 피막 성장 모델을 따라 일어났다. 재부동태 초기의 부동태 피막은 " place exchange model " 을 따라 핵성성하여 약 9 msec 이후에는 " high field ion conduction model " 을 따라 성장하였다.
2. 합금 690 도 스테인리스강의 경우와 마찬가지로 부동태 피막의 재부동태 거동은 $\log i(t)$ vs. $1/q(t)$ plot에서 3단계로 나타났다. 특히 stage II 에서의 기울기 (cBV) 는 합금의 재부동태 속도와 부동태 피막의 보호성을 나타내는 척도로 cBV 가 낮을수록 합금의 부동태 속도는 빠르고 피막의 보호성이 우수하여 응력부식 저항성이 증가한다.
3. 700 °C 에서 시효처리한 합금 690은 시효시간이 1시간 일 때 cBV 값이 가장 높았고, 그 후 감소하여 시효시간이 10~15 시간일 때 최소값을 보였다. 시효시간이 더 증가함에 따라 cBV 값은 증가하였다. 이로부터 용체화 처리후 700 °C 에서 10~15 시간 시효처리한 합금에 가장 빠른 재부동태 특성과 우수한 보호성을 갖는 부동태 피막이 형성되어 응력부식 저항성이 가장 우수한 것으로 사료된다.
5. 700 °C 에서 15 시간 시효처리한 합금 690 (690TT) 의 경우 용액의 온도와 인가전위가 증가할수록 cBV 값이 증가하여 재부동태 속도가 느려지고 부동태 피막의 보호성이 떨어져 응력부식 저항성이 저하될 것으로 예측된다.