2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

3.5NiCrMoV 강의 부식피로거동에 용존산소가 미치는 영향

Effect of Dissolved Oxygen for Corrosion Fatigue Behavior in 3.5NiCrMoV Steel

이정국, 맹완영, 김우철
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

원자력발전소에서 전력을 생산하는 저압터빈용 로터(rotor) 및 디스크(disk)재료는 저합금강(3.5NiCrMoV)을 사용한다. 원전의 터빈 부품은 터빈의 부식환경에서 장시간 사용되면 응력부식, 부식피로, 고주기피로 등 여러 가지 재료 손상 문제가 발생한다. 특히 저압터빈내의 부식 환경을 악화시키는 유해한 환경인자인 염기성환경과 용존산소의 존재로 부식피로, 응력부식균열 등의 재료손상 기구를 통하여 부품 손상을 가속화시키는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 순수에서 질소를 주입하여 용존산소량에 따른 3.5NiCrMoV강의 부식피로 특성을 순수 온도에 따라 고찰하였다.

Abstract

The corrosion fatigue behaviour of low alloy steel in a simulated low pressure steam turbine environment in pure water at 25 and 150 has been examined as an effect of dissolved oxygen concentration, 8 ppm and 10 ppb respectively. In pure water at 25 crack propagation rates are similar regardless of dissolved oxygen concentration. However, in pure water at 150℃ crack propagation rate of 8 ppm (DO) concentration is faster than that of 10 ppb(DO) concentration.

1. 서론

원자력발전소에서 전력을 생산하는 저압터빈용 로터(rotor) 및 디스크(disk)재료는 저합금강(3.5NiCrMoV)을 사용한다. 원전의 터빈 부품은 터빈의 부식환경에서 장시간 사용되면 응력부식, 부식피로, 고주기피로 등 여러 가지 재료 손상 문제가 발생한다. 특히 Lyle[1]는 저압터빈강에서 환경기인 부식 균열 발생은 액상존재, 액상내의 용존산소, 터빈

강 온도 및 항복강도 등에 영향을 받는다고 보고하였다. 저압터빈부품의 균열은 주로 기상으로 유입된 증기가 최초로 액상으로 상변태되는 영역(윌슨선)에서 집중되는 경향이 있다. 이러한 윌슨선은 통계적으로 증기의 진입구(inlet)부근에 위치하며, 윌슨선 위치에서 저압터빈강의 온도는 150℃ 165℃로 균열성장에 큰 영향을 주고 있다.[2] 또한 터빈 디스크 및 로터의 열분포가 주기적으로 변화함에 따라 윌슨선에 형성되는 액상막이 증발과 응축을 반복함으로서 저압터빈 손상에 유해한 화학종이 터빈 표면에 농축된다. 이는 저압터빈내의 부식 환경을 악화시키는 유해한 환경인자인 염기성환경과 용존산소의 존재로 부식피로, 응력부식균열 등의 재료손상 기구를 통하여 부품 손상을 가속화시키는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 순수에 질소를 주입하여 용존산소량에 따른 3.5NiCrMoV강의 부식피로 특성을 순수 온도에 따라 고찰하였다.

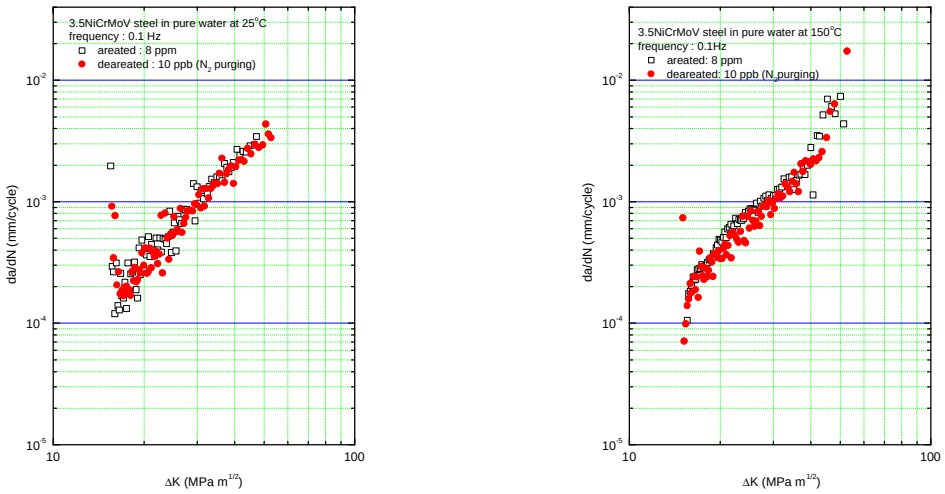
2. 실험방법

본 연구에 사용된 3.5NiCrMoV강은 ASTM A470으로 bainitic 구조를 갖는 고강도 저합금강 이다. 이러한 bainitic 구조는 탄화물이 고밀도의 전위와 결합하여 미세하게 분포되어 있는 형태로 강의 강도와 인성을 적당히 조화시킨 재료이다. 3.5NiCrMoV강을 순수에서 부식피로특성을 평가하기 위해 CT시편(W=25㎜)을 이용하여 수중에서 부식피로균열진전 시험을 수행하였다. 부식환경을 일정하게 조절하고 피로하중을 부과하기 위해 물순환 루프(loop)가 장착된 INSTRON 동적재료시험기를 사용하였다. 부식피로시험환경은 25℃ 및 150℃의 수중 분위기였다. 피로하중은 최대하중 400 kgf, 최소하중 80 kgf로 하중비는 0.2였고, 주파수는 0.1 ㎐를 부과하였다. 또한 물 속에 질소가스를 주입하여 용존산소농도를 10 ppb이하로 낮추어, 질소로 주입하지 않은 8 ppm상태 일때와 비교 하였다.

3. 결과 및 고찰

피로균열성장속도

3.5NiCrNoV강의 순수에서의 질소가스주입에 따른 부식피로실험 결과는 상온과 150℃의 순수조건에서 매우 다른 피로균열전파성장속도를 보여주고 있다. 특히 상온의 순수 조건에서 결과를 보면 질소주입한 환경에서의 피로균열전파 성장속도가 전체적인 ΔK영역에서 유사한 균열전파성장속도를 나타내고 있다. 상온의 순수환경에서는 용존산소가 3.5NiCrMoV 강에 큰 영향을 주지 않음을 볼 수 있다. 그러나 150℃의 순수 분위기에서는 25℃ 순수 분위기와 달리 용존산소가 8 ppm 존재할때 ΔK값이 20~35 MPam $^{1/2}$ 영역에서 빠른 균열 성장을 보이고 있다. 한편 35 MPam $^{1/2}$ 영역을 지나면, 균열성장속도가 용존산소량에 상관없이 같아진다. 즉 150℃ 순수에서 용존산소량에 따른 균열성장속도의 상대적인 변화로부터 부식환경으로부터 ΔK값이 임의의 임계값을 기준으로 임계값 전에는 부식의 영향이 균열성장속도에 영향을 미치지만, 임계값을 지나면 균열성장이 부식의 영향보다는 응력에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.



(a) (b)

Fig. 1. Crack growth rates during fatigue of 3.5NiCrMoV steel in pure water according to dissolved oxygen (a) in pure water at 25℃ (b)in pure water at 150℃

파면분석

그림2는 25℃ 순수에서 용존산소량에 따른 피로파면을 나타내고 있다. 전체적인 파면 형태는 용존 산소량에 관계 없이 입내파괴로 균열이 전파되었음을 볼 수 있다. 또한 부분적으로는 입계파괴도 관찰되고 있는데 이를 화살표로 나타내었다. 즉 두 순수환경에서의 균열은 입내파괴와 입계파괴가 함께 일어나고 있음을 알 수 있다.

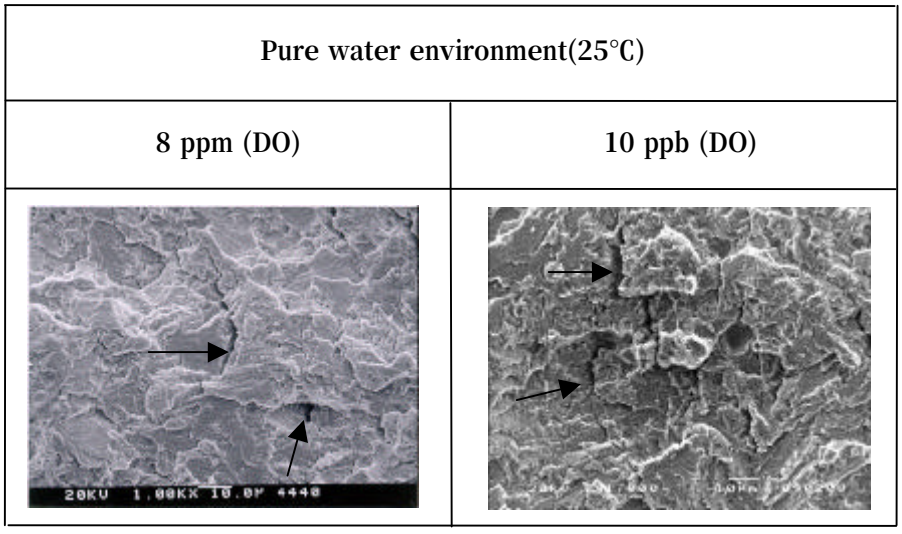


Fig.2. Fracture surface in pure water at 250℃ according to dissolved oxygen

150℃에서의 파면은 그림3에 나타내었는데, 상온의 파면형태와 같이 입내파괴로 균열이 전파하고 있으며, 이와 함께 화살표로 표시한 입계파괴가 일어나고 있음을 알 수 있다.

특히 150℃ 순수환경에서는 상온과 달리 용존산소가 8 ppm 존재시 균열전파성장속도가 빠르게 일어남을 나타내고 있는데, 이는 용존산소가 순수 온도가 높아짐으로 인해 강의 표면과 반응하여 불안전한 피막을 형성하기 때문이다. 이러한 산화물이 형성되어 있는 피막은 그림4에 나타내었다. 무수히 작은 알갱이 같은 부식 생성물이 불안전한 피막을 형성하고 있음을 볼 수 있다. 즉 용존산소량에 따른 순수의 온도가 3.5NiCrMoV강의 부식피로 특성에 매우 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

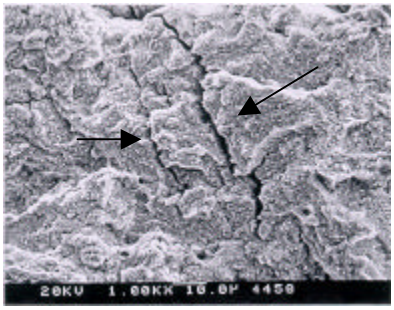
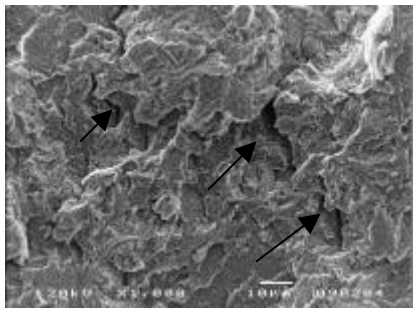
Pure water environment(150℃)	
8 ppm (DO)	10 ppb (DO)
	

Fig.3. Fracture surface in pure water at 150℃ according to dissolved oxygen

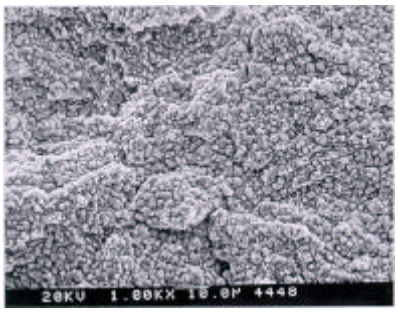


Fig.4. Oxidation formation in fracture surface in pure water with 8 ppm (dissolved oxygen)

5. 결론

1. 순수환경에서 질소주입에 피로균열전파속도는 상온에서는 유사한 균열성장속도를 나타내었으며, 150℃에서는 질소를 주입하지 않는 환경인 용존산소가 8 ppm 존재시 빠른 균열성장속도를 나타내었다.
2. 상온과 150℃순수 환경에서의 피로파면은 전체적으로 입내파괴양상을 나타내었으며, 부분적으로 입계파괴가 발생하고 있음을 볼 수 있다. 특히 입계파괴의 발생 정도가 균열성장속도의 차이에 큰 영향을 주는 것으로 생각된다. 또한 150℃ 순수에 질소를 주입하지 않았을 때(용존산소량: 8 ppm) 두꺼운 산화철로 이루어진 피막이 관찰할 수 있다. 이러한 산화철의 형성은 3.5NiCrMoV강의 내구성을 저하시키고 있다.

REFERENCES

1. F.F. Lyle, Jr.: “ Stress Corrosion Cracking in Low Pressure Steam Turbines”, Corrosion 94 (1994)

2. R.Rungta, J.A. Begley, and R.W. Staehle: “Effect of Steam Impurities on Corrosion Fatigue Crack Growth Tates of a Turbine disc steel”. Corrosion-NACE (1981) 682