

복합조직강의 제2상 경도변화가 부식피로 균열전파에 미치는 영향

오 세욱(동아대학교), 김 응집*, 서 병조(동아대학원)

1. 서 론

해양환경중에서 사용되는 기계, 구조물의 각종 재료는 공기중의 피로한도 이하에서도 파괴가 일어나므로 이들에 대한 환경민감성이 주목되고 있다.

공기중에서 M.E.F 복합조직강은 제2상(martensite)의 경도차이에 따른 모상(ferri-te)에 대한 소성구속상의 요인으로 피로파괴 거동에 차이가 있는 것으로 알려져 왔다. 그러나 해양환경의 측면에서는 이들의 연구가 거의 없는 편이며, 응력레벨의 변화에 따른 소성구속상의 요인으로 피로파괴거동에 많은 차이가 있을 것으로 보인다.

따라서, 본 연구에서는 저탄소강(SM20C)을 소재로 일련의 열처리 과정을 통하여 제2상의 경도를 변화시킨 M.E.F 복합조직강을 이용하여 3%식염수 중에서 응력레벨의 변화에 따른 피로균열의 전파과정에 대하여 검토 하였다.

2. 실험장치 및 방법

시험편의 소재는 열간압연재(SM20C)를 사용하였다.

소재의 열처리 과정은 Fig.1과 같다.

모재를 R, 제2상의 경도를 변화 시킨 재료를 H₂, H₄ 및 H₆로 하였다.

그리고 템프링을 시키지 않은 재료를 M으로 하였다.

Fig.2는 열처리 과정에서 얻어진 금속조직이다.

Table 1은 금속학적 성질로서 선분석법을 이용하여 구하였고, 각성분의 경도는 마이크로 비커스 경도계(25gf, 50점)로서 측정된 평균값으로 모상의 경도는 차이가 적으나 제2상의

경도는 차이가 많은 것을 알 수 있다.

Table2는 기계적 성질을 나타낸 것이다.

Fig.3은 피로시험편의 형상으로 지름0.5mm, 깊이0.5mm의 원공노치를 가공하였다.

시험액은 증류수를 용매로한 3%식염수로 하였다.

부식용액의 온도는 25±1°C로 일정하게 유지시켰으며 유량은 약60CC/min로서 시험편 중앙부에 유출시켜 2/3이상 침적토록 하였다.

본 실험에 사용한 피로시험기는 자작한 편지식 회전굽힘 피로시험기로서 공기중에서는 1500 rpm, 해수상태에서는 VS. 모터를 사용하여 150rpm으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 S-N곡선

Fig.4는 회전굽힘 피로시험결과를 나타낸 것이다.

템프링온도가 높을수록 피로수명이 감소되며, 공기중에 비해 피로파괴곡선의 기울기가 크고 피로수명이 현저하게 감소 하였다.

또한, 동일응력레벨에서 템프링온도의 영향이 적게 나타났으며 저응력레벨 일수록 수명의 차이가 더욱 감소 되었다.

3.2 각 응력레벨에서의 반복회전수와 피로균열전파길이와의 관계

Fig.5는 $\sigma=302\text{MPa}$ 와 137MPa 의 응력에서 피로크랙전파길이와 반복회전수와의 관계로서, 고응력레벨에서는 전파수명의 차이가 크나 저응력레벨에서는 감소되었다.

Table3은 공기중과 식염수에서의 초기균열(Ni)과 파괴회수(NF)와의 관계로서,

공기중에서는 템프링온도가 낮을수록 균열은 조기에 발생되며 피로수명의 차이가 크나 식염수에서는 비교적 차이가 적으며 400°C 이상에서는 공기중의 경우와 그 차이가 적게 되었다. 그러나 템프링온도가 낮을수록 피로수명이 증가하였으며 균열전파는 공기중에 비해 일시적인 정류현상이 없이 완만하게 진행되었다.

3.3 da/dn - ΔK와의 관계

Fig.6은 피로균열 전파속도(da/dn)와 응력 확대계수(ΔK)와의 관계를 나타낸 것으로 응력 확대계수는 간편식 $\Delta K = \sigma \sqrt{\pi a}$ 의 관계를 Paris 법칙으로 사용하였다.

공기중에 비해 ΔK와 da/dn의 변화가 적으며 응력레벨과 템프링온도가 낮을수록 저 ΔK에 위치하며 균열전파속도가 늦음을 알 수 있다. 그리고 400°C 이상에서는 공기중과 식염수에서 균열전파속도에 변화가 적음을 알 수 있다.

3.4 균열전파 특성

Fig.7,8은 균열길이가 거의 1mm 발생되었을 때를 나타낸 것이다.

Fig.7은 공기중 및 식염수에서의 균열전파로서 공기중에서는 모상에서의 슬립이 제2상의 벽이나 경계에서 저지되거나 부식상태에서는 모상 및 제2상 경계에서 발생한 슬립이 부식피트(A)로 되어(B)의 인접한 부식피트로 균열이 전파하였다.

또한, 주균열에 관계없이(C)에서와 같이 부식피트에서도 균열이 발생전파되는 경향으로 나타났다.

Kondo의 경우 균열로 천이한 직후 부식피트가 그대로 남으며 그이상의 피트크기는 증가하지 않고 균열로 성장한다고 하였다.

따라서, 일단 균열이 발생하면 균열의 주변이 국소적으로 부식되어 균열의 진보가 가속되지만, 대체적으로 균열길이 0.5mm 이전에서는 슬립이 용해되어 피트만 보이나 0.5mm 이후에서는 슬립이 쉽게 관찰되며 이미 발생한

부식피트에서 또다른 다수의 균열이 발생되며 인접한 주균열과 합체되어 파단직전에 거의 합체하는 경향으로 나타났다.

Fig.8은 저응력레벨에서 관찰한 것으로 고응력레벨에 비해 부식피트가 크며 노치선단이 심하게 부식되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 고응력레벨에서는 공기에서와 같이 파괴역학적 및 환경에 대해 영향을 받으나 저응력레벨에서는 환경에 대한 영향을 주로 받으므로 Fig.5 및 6에서와 같이 피로수명의 차이가 적게 나타남을 알 수 있다.

4. 결 론

- 1) 템프링온도가 낮을수록 피로수명이 증가하며, 저응력레벨일수록 피로수명의 차가 적고 da/dn와 ΔK의 변화가 적으므로 균열전파속도가 늦게 되었다.
- 2) 저응력레벨에서는 환경민감성이 크므로 부식피트의 크기가 증가 하였다.
- 3) 부식피트는 제2상의 경계나 모상에서 주로 발생되며 주균열과 연결되거나 단독으로 균열이 발생 되었다.

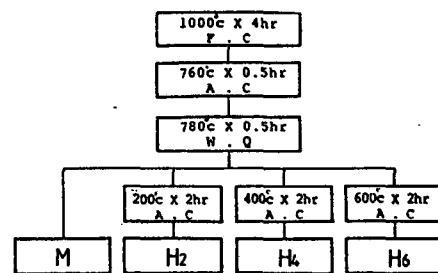
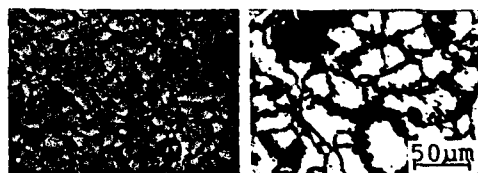


Fig.1 Process of the heat treatment



Series R Series M
Fig.2 Microstructure of specimen

Table 1 Metallurgical properties of M.E.F.

Series	Ferrite grain size (μm)	Martensite volume fraction (%)	connectivity (%)	Hardness(Hv)		
				Ferrite	Martensite	Ratio
M	31	52	97	195	543	2.8
H ₂	31	52	97	231	689	3.0
H ₄	31	52	97	192	370	1.9
H ₆	31	52	97	160	220	1.4

Table 2 Mechanical properties

Series	R	M	H ₂	H ₄	H ₆
Tensile strength (MPa)	465.8	724.0	829.6	676.6	528.5
Elongation(%)	29.6	15.8	16.3	25.9	35.7

Table 3 Ratio of crack initiation and fracture number of cycles(N_i/N_f)

Ni/N _f	Series	R	M	H ₂	H ₄	H ₆
		NaCl	$\sigma=302\text{MPa}$	0.174	0.093	0.103
	$\sigma=137\text{MPa}$	0.198	0.205	0.152	0.158	0.126
Air	$\sigma=302\text{MPa}$	0.123	0.126	0.108	0.088	0.082

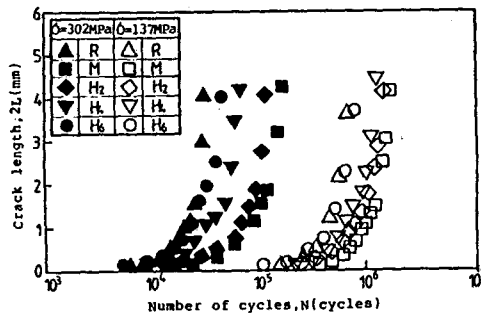
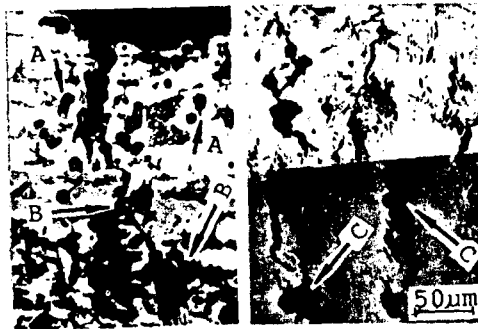


Fig. 5 Crack length vs. number of cycles



(etched)

loading direction

Fig. 7 Crack propagation in 3%NaCl ($\sigma=302\text{MPa}$, Series H₄)

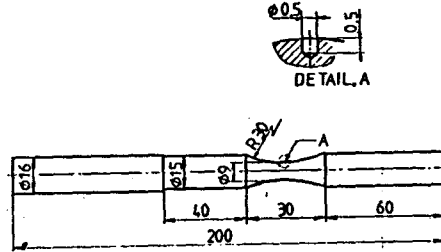


Fig. 3 Shape and dimension of testing specimen

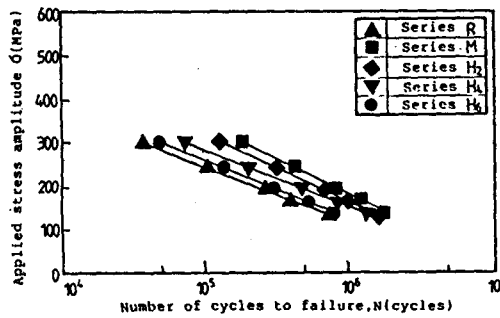


Fig. 4 S-N curves of specimen

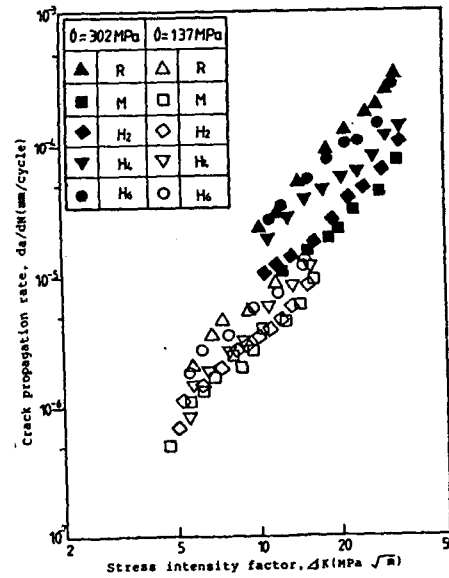


Fig. 6 Crack propagation rate vs. stress intensity factor



($\sigma=137\text{MPa}$)
Series H₄)

Fig. 8 Crack propagation in 3%NaCl