

◎ 論 文

3% NaCl 水溶液中에서 複合組織鋼의 腐蝕疲勞舉動에 미치는 第2相 硬度變化의 影響

吳世旭* · 金雄執**

(1992년 월 일 접수)

Effect of the Change of Second Phase Hardness on Corrosion Fatigue Behavior of Dual Phase Steel in 3% NaCl Solution

Sae-Wook Oh, Woong-Jib Kim

Key Words : Dual Phase Steel(複合組織鋼), Corrosion Fatigue(腐蝕疲勞), Fatigue Strength(疲勞強度), Initial Fatigue Crack(初期疲勞크랙), Crack Propagation Rate(크랙傳播速度), Stress Intensity Factor(應力擴大係數), Corrosion Pit(腐蝕피트)

Abstract

The only hardness of 2nd phase of martensite in dual phase steel which was composed of the martensite and ferrite was changed. Fatigue test was conducted by cantilever type of self-made rotated bending fatigue testing machine. The corrosion fatigue fracture behaviors of dual phase steel were investigated in 3% NaCl solution at $N_f=1.5 \times 10^5$ and $N_f=1.0 \times 10^6$ cycles.

The fatigue strength was increased with increasing the hardness of 2nd phase. The size and number of corrosion pits were influenced by the 2nd phase hardness and pits remain constant in size just after they were transitioned into cracks. The life of crack initiation was effected by stress level. The shape of relation of ΔK and da/dn has smaller scattering in it in 3% NaCl solution than that in air. The higher the 2nd phase hardness is, the higher the corrosion fatigue life becomes. Corrosion fatigue fracture behavior was effected by mechanics in case of $N_f=1.5 \times 10^5$ cycles and by electric-chemistry in case of $N_f=1.0 \times 10^6$ cycles.

1. 序 論

해양環境下에서 사용되는 각종 海洋構造物에서

의 腐蝕疲勞破壞는 反復應力에 의한 機械的인 疲勞현상과 環境효과가 중첩되어 작용하며, 高應力의 경우 破壞는 주로 力學的인 要因에 의해 지배되고, 低應力の 경우 電氣 化學的인 腐蝕기구에

* 동아대학교 공과대학 기계공학과

** 동아대학교 대학원

의해 크랙이 발생, 성장한다고 보고되고 있다.¹⁾

따라서, 海洋環境에서는 耐食성이 優秀한 高級材料의 使用이 필수적이지만 資源의 枯渴과 生産原價의 절감으로 인한 經濟的인 側面을 고려하여 볼 때, 低廉한 代替材料의 開發을 통하여 사용材料를 輕量化, 高强度化, 高韌性化 및 耐蝕化합이 바람직하다. 이러한 側面에서 軟質의인 母相과 硬質相인 제2상으로 構成된 複合組織鋼에 대한 金屬組織學的 및 機械力學的인 破壞舉動에 대하여 空氣中에서 많은 研究가 行하여 지고 있으며,^{2,3,4)} Oh^{5,6)}에 의해 海洋環境下에서 腐蝕疲勞破壞에 미치는 여러가지 環境要因이 연구되고 있다.

複合組織鋼을 海洋構造物에서 사용할 때 機械加工時에 發生하는 熱的要因에 의한 제2상 硬度변화는 金屬組織學的인 側面에서 塑性拘束性이 변화된다. 이러한 제2상 硬度변화는 사용되는 環境要因과 力學的인 조건에 의해 腐蝕疲勞 破壞舉動이 상이할 것으로 판단된다.

그러므로 軟質相인 母相과 硬質相인 제2상으로 構成된 複合組織鋼의 제2상 硬度변화에 대한 環境要因의 변화 즉, 空氣 및 3% NaCl 水溶液中에서의 작용應力레벨에 따른 疲勞破壞舉動을 규명할 필요가 있다.

本 研究는 炭素鋼(SM20C)을 素材로 일련의 熱處理過程을 거쳐 제2상의 硬度를 변화시킨 連結材 形狀의 複合組織鋼(dual phase steel of second phase encapsulated ferrite)을 自作한 片持式 回轉굽힘 疲勞試驗을 통하여 空氣中 및 3% NaCl 水溶液中에서 疲勞破壞壽命 1.5×10^5 과 1.0×10^6 사이를 기준으로 한 時間強度 應力을 各 材料에 대해 작용시켰을 때 初期疲勞크랙과 腐蝕피트의 發生課程, 疲勞크랙의 傳播速度와 應力擴大係數 및 疲勞크랙의 形成舉動에 미치는 영향에 대하여 考察하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

試驗片의 素材는 構造用鋼(SM20C)인 熱間壓延材로서 化學成分은 Table 1과 같다.

素材의 熱處理 과정은 Fig. 1에 표시한 바와 같이 組織의 均質化를 위하여 1000°C에서 4시간 유

Table 1. Chemical composition of specimen(Wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.21	0.23	0.41	0.02	0.006

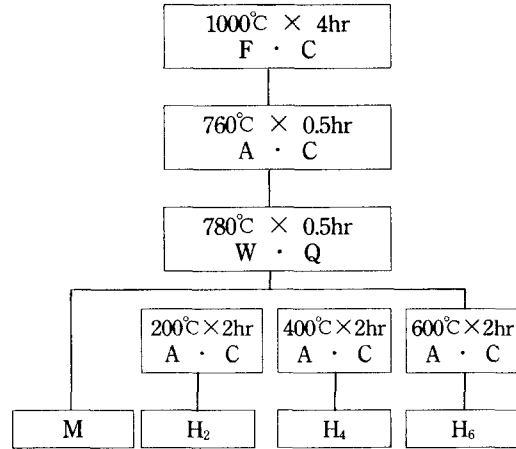


Fig. 1 Process of the heat treatment

지시킨 후 爐冷하였다. 다음에 硬質相인 제2상이 軟質相인 母相(ferrite)을 둘러싼 連結材 形狀의 複合組織鋼을 얻기 위하여 760°C에서 30분 유지시킨후 空冷 처리한 후 다시 780°C에서 30분 가열 후 물속에서 담금질 하였다. 또한 제2상의 硬度를 변화시키기 위하여 200°C, 400°C 및 600°C에서 각각 2시간씩 유지시킨 후 空冷한 材料를 H₂, H₄ 및 H₆ 材라 하였다. 母材를 R, 템퍼링(tempering)을 실시하지 않은 複合組織鋼 材料를 M이라 하였다.

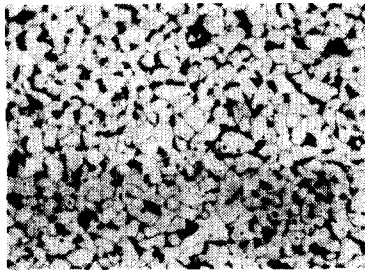
Fig. 2는 熱處理과정에서 얻어진 金屬顯微鏡 組織사진이다.

Table 2는 複合組織鋼의 金屬의 性質을 나타내며 Table 3은 母材와 複合組織鋼의 機械的 性質을 나타낸 것이다.

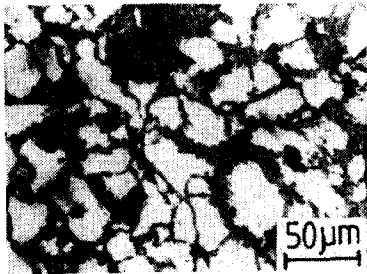
Fig. 3은 疲勞試驗片 形狀으로써, 疲勞크랙 發生 領域을 局限하고, 크랙의 관찰을 하기 쉽도록 지름 0.5mm, 길이 0.5mm의 橫孔노치로 加工하였다.

疲勞試驗機는 片持式 回轉굽힘 疲勞試驗機(Cantilever type rotated bending fatigue testing machine)로써 空氣中에서는 1500rpm, 3% NaCl 水溶液中에서는 150rpm으로 하였다.

腐蝕液의 유량은 약 60CC/min로서 試驗片 중앙



Series R



Series M

Fig. 2 Microstructure of specimens

Table 2. Metallurgical properties of dual-phase steel

Series	Ferrite grain size (µm)	2nd phase volume fraction (%)	Connectivity (%)	Hardness(Hv)		
				Ferrite	2nd phase	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 3. 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

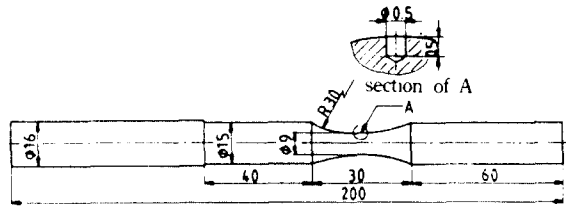


Fig. 3 Geometry of testing specimen

부에 流出시켜 2/3이상 침적토록 하였다. 腐蝕液의 溫度는 電子感溫장치를 이용하여 25±1°C로 일정하게 유지시켰다.

크랙길이 측정은 일정시간 시험한 후 면봉을 이용하여 腐蝕生成物을 제거하였으며, 軸에 대하여 直角方向으로 크랙발생곡면을 따라 金屬顯微鏡으로 측정하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 S-N 曲線

Fig. 4와 5는 SM20C鋼의 母材와 複合組織鋼을 空氣中 및 3% NaCl 水溶液中에서 作用應力레벨을 변화시켜 疲勞實驗한 疲勞強度曲線을 나타낸 것이다.

3% NaCl 水溶液中의 疲勞破壞壽命은 1.5×10⁵사이클을 기준으로한 경우 空氣中の 疲勞破壞壽命에 비하여 81~89%로 나타났으며, 1.0×10⁶사이클을 기준으로한 경우 57~68%로 나타났다. 따라서 3

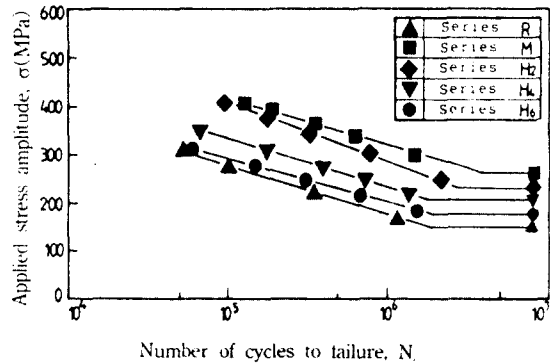


Fig. 4 S-N curves for dual phase steel in air

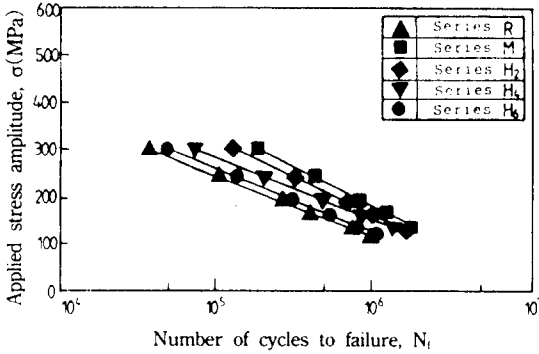


Fig. 5 S-N curves for dual phase steel in 3% NaCl solution

% NaCl 水溶液中에서의 疲勞壽命이 空氣中에 비하여 현저히 減少하므로 腐蝕疲勞 強度曲線의 기울기가 크게 나타났다. 그러나 同一應力 레벨에서 3% NaCl 水溶液中의 疲勞強度壽命에 비하여 空氣中の 疲勞強度壽命은 低應力 레벨일수록 제2상 硬度 변화의 영향과 疲勞壽命의 변화폭이 크게 나타났다. 따라서 破壞壽命의 차이는 高應力 레벨에 비해 低應力 레벨일수록 그 차이가 클 뿐만 아니라, 제2상의 硬度가 增加할수록 塑性拘束效果가 중첩되어 그 차이가 增加되었다.

腐蝕疲勞 強度曲線에 있어서 空氣中에 비해 기울기가 급하고 疲勞限度가 명확히 나타나지 않는 것은 反復回數가 增加할수록 크랙선단이 열린 상태로 腐蝕에 접하는 時間이 길어져 腐蝕의 영향이 增加되므로 材料의 疲勞強度가 약화되어 크랙의 發生이 용이하기 때문인 것으로 보아진다. 즉, 複合組織鋼의 破壞에 있어서 空氣中에서는 金²⁾의 靜的引張試驗 및 吳³⁾의 疲勞試驗에서와 마찬가지로 母相에서의 劈開크랙이 제2상의 塑性拘束力에 의해 저지되므로 제2상의 硬度가 增加할수록 疲勞壽命이 增加하나, 3% NaCl 水溶液中에서는 空氣中에 비하여 反復回數의 영향이 크며 母相과 제2상과의 境界나 그 부근에서 腐蝕의 영향을 많이 받으므로 제2상 硬度가 減少할수록 塑性拘束力이 減少되어 空氣中에 비해 현저하게 疲勞壽命이 減少되었다고 생각된다.

3.2 反復回轉數에 따른 腐蝕피트 크기와 腐蝕 피트 數

Fig. 6, 7은 3% NaCl 水溶液中의 S-N曲線에 있

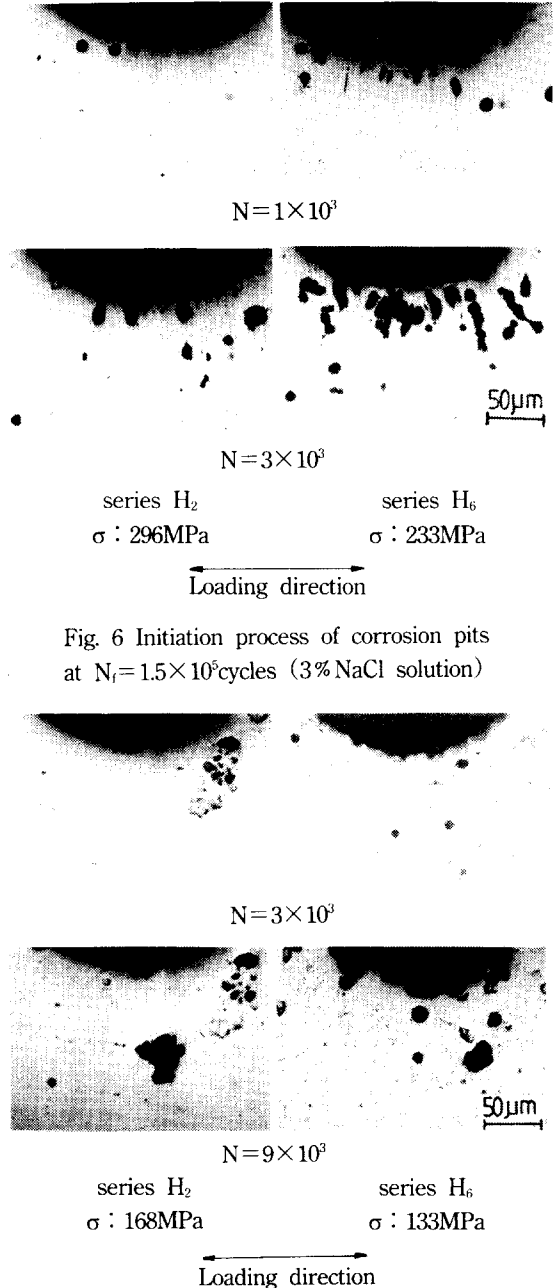


Fig. 6 Initiation process of corrosion pits at $N_f=1.5 \times 10^5$ cycles (3% NaCl solution)

Fig. 7 Initiation process of corrosion pits at $N_f=1.0 \times 10^6$ cycles (3% NaCl solution)

어서 破壞壽命 1.5×10^5 과 1.0×10^6 사이클을 기준으로 한 各 材料의 時間強度에 관한 腐蝕피트의 成長過程을 나타낸 것이다.

腐蝕피트 크기와 數 및 發生과 成長過程은 破壞壽命과 제2상 硬度변화에 따라 차이가 나타났다. 즉, 腐蝕피트의 크기는 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 外力에 의한 영향이 크므로 破壞壽命 1.0×10^6 사이클에 비해 腐蝕피트가 早期에 발생하며 크기가 적고 數가 많았다. 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 外力에 대한 영향이 적으므로 제2상 硬度크기에 더욱 의존하는 경향으로 나타났으며, 腐蝕피트의 크기가 크고 數는 減少하였다.

腐蝕피트의 크기는 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 4.8×10^3 사이클에서 限界피트의 크기는 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 이며, 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 3×10^4 사이클에서 限界피트의 크기는 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 으로 나타났으며 Kondo⁷⁾의 실험결과와 마찬가지로 臨界피트에 도달한후 크랙으로 遷移하므로 腐蝕피트의 크기는 더 이상 增加하지 않았다.

즉, 腐蝕피트의 크기는 H₂材의 경우 Table 2에서와 같이 軟質相인 母相의 粒徑크기가 $31 \mu\text{m}$ 이고 제2상의 體積率이 52%이므로 母相과 제2상의 體積率이 同一한 것으로 보아지므로 母相의 粒徑크기와 同一한 약 $30 \mu\text{m}$ 이상의 腐蝕피트 크기는 增加하지 않았다. 따라서 腐蝕피트 크기는 複合組織鋼의 경우 母相의 粒徑크기, 제2상 硬度크기, 反復回數와 應力레벨에 크게 의존하는 것으로 고려된다.

腐蝕피트의 發生은 熱處理 과정에서 제2상과 母相간의 體積膨脹으로 인하여 제2상 주위에는 未溶解 炭化合物과 轉位가 존재하므로 反復應力이 가해지면 轉位運動에 의해 제2상 주위에는 無析出領域이 形成되므로 제2상과 母相의 境界에서 주로 微小슬립이 形成된다고 보아진다.⁸⁾ 따라서 反復사이클의 增加와 함께 제2상 境界근처에서 슬립의 수가 增加하므로 이 부근에서 腐蝕피트가 우선적으로 발생된다고 보아진다.

Fig. 8은 3% NaCl 水溶液中에서 412MPa의 應力を 작용시켰을 때의 初期크랙 사진으로 Fig. 6과 7에서 언급한 바와 같이 初期크랙은 작용應力레벨 및 反復사이클과 密接한 관계가 있다고 보아진다.

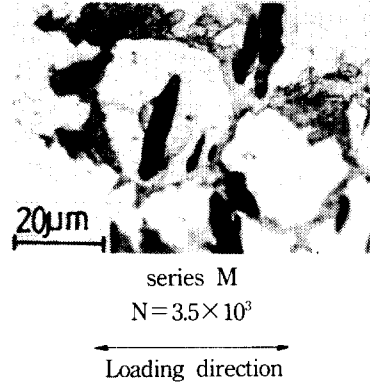


Fig. 8 Crack initiation at 412 MPa (3% NaCl solution)

結果적으로 3% NaCl 水溶液中에서는 Nisitani¹⁾의 보고와 마찬가지로, 제2상 硬度가 적고 작용應力 레벨이 增加할수록 機械力學的인 작용에 의해 제2상의 境界 근처에서 슬립이 發生하며 腐蝕피트는 슬립대에 우선적으로 發生하므로 腐蝕피트의 발생 수가 많고 크기가 적으며 破壞壽命이 減少하였다. 또한, 제2상 硬度가 크고 작용 應力레벨이 減少할수록 各各의 피트에서 피트의 크기가 增加되어 인접한 피트와 연결되어 크랙으로 發生, 成長하므로 電氣化學的인 작용이 강하게 작용하여 全面腐蝕化 되는 경향으로 보아진다.

3.3 初期크랙과 크랙傳播특성

Table 4와 5는 空氣中 및 3% NaCl 水溶液中에서 破壞壽命 1.5×10^5 , 1.0×10^6 사이클의 各 時間強度에 관한 初期크랙 發生回數(N_i)와 破壞回數(N_f)와의 관계(N_i/N_f)이며, 初期크랙의 길이는 노치의 直徑을 포함하지 않은 主크랙의 길이를 0.05mm로 하였다.

Table 4는 空氣中에서의 N_i/N_f 관계이며 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 5.3~8.7%, 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 7.5~12.0%이다.

Table 5는 3% NaCl 水溶液中에서의 N_i/N_f 관계로서 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 4.7~14.7%, 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 10.3~24.7%이다.

破壞壽命을 기준으로 했을 때 空氣中에 비해 3% NaCl 水溶液中에서 그리고 破壞壽命이 클 경우

Table 4. Ratio of number of cycles to crack initiation and failure(N_i/N_f) in air

Series	R	M	H ₂	H ₄	H ₆
$N_i=1.5 \times 10^5$	0.073	0.087	0.053	0.072	0.087
$N_i=1.0 \times 10^6$	0.100	0.097	0.120	0.110	0.075

Table 5. Ratio of number of cycles to crack initiation and failure(N_i/N_f) in 3% NaCl solution

Series	R	M	H ₂	H ₄	H ₆
$N_i=1.5 \times 10^5$	0.147	0.100	0.048	0.068	0.047
$N_i=1.0 \times 10^6$	0.137	0.247	0.186	0.170	0.103

初期크랙의 발생이 遲延되었다. 이러한 結果는 Oh³⁾의 空氣中에서의 疲勞實驗結果 初期크랙은 高應力의 경우 4~9%, 低應力의 경우 7~13%에서 發生되며 高, 低의 同一 應力레벨에서 제2상 硬度가 클수록 初期크랙의 發生이 遲延되었다.

따라서, 初期크랙은 同一 應力레벨에서는 제2상 硬度의 크기에 의존하나 破壞壽命이 同一한 應力을 적용시켰을 때 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우가 1.0×10^6 사이클의 경우에 비하여 早期에 크랙이 發生하므로 應力레벨에 영향을 받음을 알 수 있다.

결과적으로, 破壞壽命이 減少할수록 작용應力이 增加하여 機械力學的인 영향이 작용하므로 初期크랙이 급하게 發生하였으며 제2상 硬度의 영향보다는 金屬的인 微視組織 즉, 인접한 母相粒徑의 크기와 제2상의 體積率 등에 의한 영향으로 보아진다. 그러나 破壞壽命이 增加할수록 작용應力이 減少하여 力學的인 영향보다는 電氣化學的인 영향이 작용하므로 크랙傳播速度가 지연되어 제2상의 硬度가 클수록 初期크랙의 發生이 지연되었다고 볼 수 있다.

3% NaCl 水溶液中の 크랙傳播 과정에서 크랙길이 1mm 정도 傳播하였을 때의 크랙傳播특성에 대하여 살펴보면, Fig. 9는 破壞壽命 1.5×10^5 사이

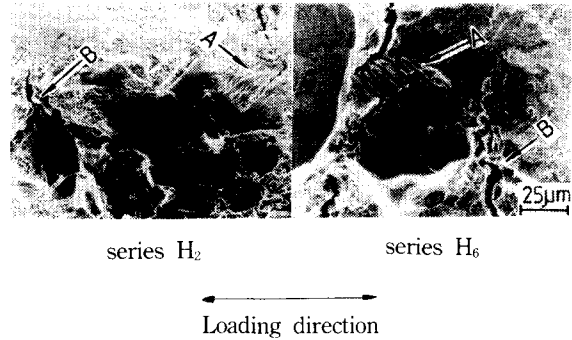


Fig. 9 S.E.M. fractography on crack propagation at $N_i=1.5 \times 10^5$ cycles (3% NaCl solution)

클에서 크랙선단 부분의 크랙과 슬립을 나타낸 것으로 A부분의 페라이트에서 슬립이 形成된 후 크랙이 傳播하는 形式과 B부분의 피트에서 發生된 크랙과 主크랙이 合體하는 樣相을 나타내므로 空氣中에 비해 크랙傳播速度가 빠르게 되었다. 따라서, 破壞壽命이 짧을 경우 微視크랙의 영향 외에 腐蝕에 의한 영향이 附加되므로 疲勞破壞壽命이 짧음을 알 수 있다.

Fig. 10, 11 및 12는 3% NaCl 水溶液中の 破壞壽命 1.0×10^6 사이클에서의 크랙傳播 특성을 나타낸 것이다. Fig. 10은 노치부근의 表面에서의 크랙을, Fig. 11은 노치底部의 크랙이다. 그리고 Fig. 12는 피트底部의 크랙을 나타낸 것이다.

H₆材의 경우 크랙의 開口幅이 넓은데 이것은 제2상의 硬度가 낮을수록 界面의 結合力이 弱화되어 塑性拘束力이 解放되어 腐蝕化 傾向이 커지는 것

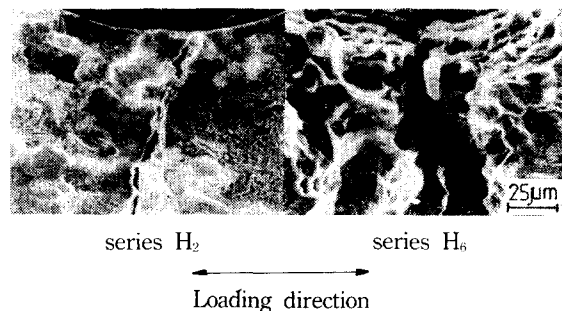


Fig. 10 S.E.M. fractography on crack propagation at $N_i=1.0 \times 10^6$ cycles (3% NaCl solution)

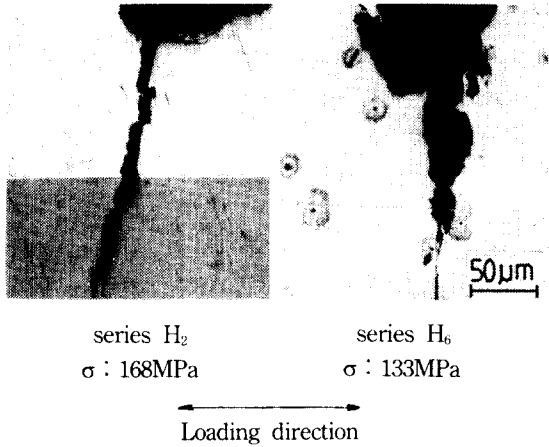


Fig. 11 Crack propagation at $N_f=1.0 \times 10^6$ (3% NaCl solution)

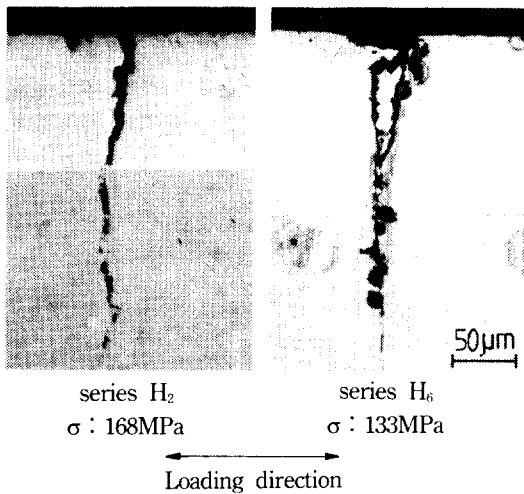


Fig. 12 Crack propagation at $N_f=1.0 \times 10^6$ (3% NaCl solution)

으로 제2상 硬度가 減少할수록 塑性拘束力이 약화되어 破壞壽命에 關係없이 crack의 개구폭이 增加하며 특히, 破壞壽命이 클수록 腐蝕에 接觸하는 期間이 길어지므로 腐蝕의 影響을 많이 받음을 알 수 있다. 즉, 제2상의 硬度가 減少할수록 그리고 破壞壽命이 增加할수록 腐蝕이 促進되었다.

3.4 疲勞크랙 傳播舉動

Fig. 13과 14는 破壞壽命 1.5×10^5 과 1.0×10^6 사

이클에서의 時間強度應力에서 제2상의 硬度변화에 따른 母材와 複合組織鋼의 疲勞크랙傳播速度(da/dn)와 應力擴大係數범위(ΔK)와의 關係를 나타낸 것이다.

Oh⁹⁾에 의하면 回轉굽힘 疲勞荷重에 의한 환봉표면에 있는 圓孔노치 또는 크랙이 引張應力을 받을 때와 유사하다고 하였다. 따라서 應力擴大係數(K)식을 다음과 같이 簡便式으로 사용할 것을 제안하였다.

$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot a}$ 로서, da/dn 와 ΔK 의 關係를 Paris 법칙으로 표시하면 다음과 같다. $da/dn = C(\Delta K)^m$ 이다.(여기서, σ : 굽힘應力, a : 圓孔노치에서 發生된 크랙길이의 1/2, C, m 은 상수이다.)

그후, Tokaji¹⁰⁾등은 負荷應力이 降伏強度와 비교하여 작을 경우 回轉굽힘 負荷狀態下의 疲勞크랙傳播특성은 윗식에 의해 평가될 수 있다고 보고하였다. 本 實驗에서는 윗식을 이용하여 ΔK 를 계산

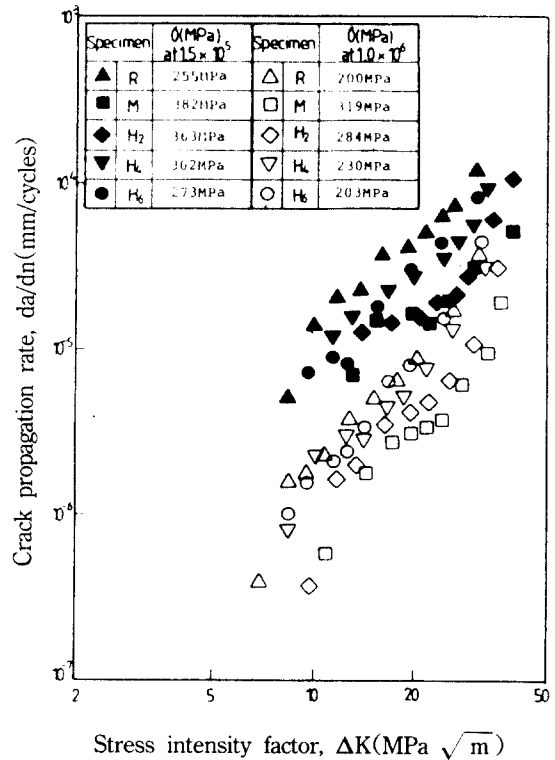


Fig. 13 Crack propagation rate vs. stress intensity factor (air)

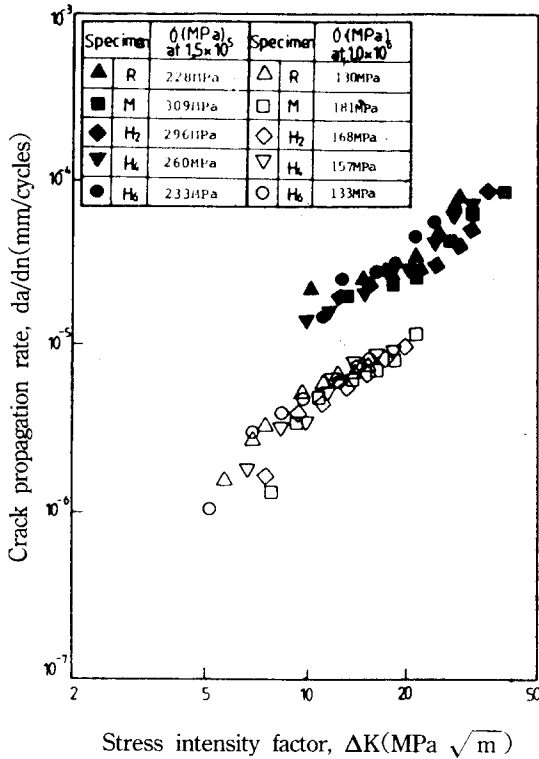


Fig. 14 Crack propagation rate vs. stress intensity factor(3% NaCl solution)

하였다.

實驗結果, 기울기 m은 空氣中에서 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 $1.52 \sim 1.90$ 이고 1.0×10^6 사이클의 경우 $1.25 \sim 2.14$ 이며, 3% NaCl 水溶液中에서는 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 $1.19 \sim 1.57$ 이고 1.0×10^6 사이클의 경우 $1.13 \sim 2.83$ 으로서 제2상 硬度가 增加할수록 기울기가 적은 경향으로 나타나며 破壞壽命이 減少할수록 기울기의 차이가 적게 나타났다.

크랙傳播速度的 경우 空氣中에서 傳播速度的 幅은 차이가 크나 3% NaCl 水溶液中에서는 차이가 적으며 특히, 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 空氣中에서는 傳播擧動的 변화幅 차이가 분명하게 나타났으나, 3% NaCl 水溶液中인 경우는 그 차이가 적게 나타났다.

應力擴大係數의 범위는 破壞壽命을 변화시켰을 때 空氣中에서는 차이가 적지만, 3% NaCl 水溶液

中에서는 차이가 분명하게 나타났다.

이상의 實驗結果에서 空氣中의 경우 各各의 同一 破壞壽命에서 제2상 硬度가 增加할수록 塑性拘束性에 의한 영향으로 初期에는 da/dn 가 다소 지연이되나 ΔK 가 增加할수록 da/dn 가 加速됨을 알 수 있었다.

3% NaCl 水溶液中의 경우 Tokaji¹¹⁾, Kobayashi¹²⁾ 등의 實驗結果와 마찬가지로 ΔK 와 da/dn 는 제2상 硬度의 영향보다는 應力레벨에 대한 영향이 크며 ΔK 가 增加할수록 da/dn 가 일치하였다. 이같은 현상은 3% NaCl 水溶液中에서 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 應力레벨이 크므로 腐蝕에 의한 영향 외에 機械力學的인 작용에 의한 영향으로 ΔK 의 범위에 대한 傳播速度的 차이가 적지만 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 應力레벨이 낮으므로 腐蝕에 접하는 期間이 增加하여 力學的인 작용보다는 電氣化學的인 腐蝕에 의한 영향으로 初期에는 제2상 硬度가 클수록 傳播速度가 지연이 되나 ΔK 가 增加할 수록 크랙傳播速度가 加速되어 일치된다고 보아진다.

4. 結 論

低炭素鋼(SM20C)을 素材로 일련의 熱處理 과정을 거쳐 제2상의 硬度를 변화시킨 連結材 형상의 複合組織鋼을 自作한 片持式 反復回轉굽힘 疲勞試驗을 통하여 空氣中 및 3% NaCl 水溶液中에서 各各의 同一 疲勞破壞壽命인 1.5×10^5 과 1.0×10^6 사이클에 대한 各各의 應力를 各 材料에 대해 작용시켜 實驗한, 結果는 다음과 같다.

1) 疲勞強度는 제2상의 硬度가 클수록 增加하였고 3% NaCl 水溶液中에서의 疲勞強度는 空氣中에 비해 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 $81 \sim 89\%$, 1.0×10^6 사이클의 경우 $57 \sim 68\%$ 으로 나타났으나, 同一 應力레벨에서는 低應力 레벨일수록 제2상 硬度 변화에 대한 破壞수명의 차이가 增加하였다.

2) 腐蝕피트 크기와 수는 제2상 硬度和 破壞수명의 영향을 받으며 크랙으로 遷移한 직후 피트의 크기는 成長하지 않았다.

3) 初期크랙의 發生期間은 破壞수명이 짧을 경우 제2상 硬度的 영향보다 微視組織의 영향을 많이

받으나 破壞수명과 제2상 硬度가 增加할수록 初期 크랙과 傳播수명이 지연되었다.

4) 크랙傳播速度는 空氣中에서는 제2상 硬度에 의존하므로 차이가 크지만, 3% NaCl 水溶液中에서는 破壞壽命 1.5×10^5 사이클의 경우 力學的인 성질과 腐蝕의 영향이 함께 작용하므로 차이가 적으나 破壞壽命 1.0×10^6 사이클의 경우 크랙면의 溶解작용과 腐蝕生成物의 작용으로 ΔK 가 增加할수록 일치하였다.

5) 제2상 硬度가 減少할수록 塑性拘束성이 減少하므로 腐蝕化 경향이 促進되었다.

參 考 文 獻

- 1) Nisitani, H., GoTo, M., Fukushima. S., Miura, A. "Fatigue Process of a Heat Treated 0.45 % C Steel in 3% NaCl Solution", JSME Trans. (A), Vol. 57, No. 542, pp. 36~42, (1991)
- 2) 金貞奎, "複合組織鋼의 破斷延性に 미치는 塑性拘束에 의한 内部應力の 영향", 大韓機械學會 論文集, 第7卷, 第2號 pp. 123~129, (1983)
- 3) 吳世旭, 金雄執, "複合組織鋼의 微視組織 변화가 疲勞破壞傳播에 미치는 영향", 韓國海洋工學會誌, 제5권, 제2호, pp. 58~66, (1991)
- 4) Kawagoishi, N., Nisitani, H. Toyohiro, T. "Effect of Microstructure on the Characteristics of Small Fatigue Crack Growth in Dual-Phase Steels", JSME Trans.(A), vol. 57, No. 544, pp. 2866~2872, (1991)
- 5) 吳世旭, 姜鎬珉, 都映旻, 金泰萬, "複合組織鋼의 腐蝕피트성장특성에 미치는 食鹽水濃度の 영향", 韓國海洋工學會誌, 第2卷, 第2號, pp. 278~286, (1988)
- 6) 吳世旭, 都映旻, 朴洙瑩, 金在喆, 金廣泳, "3.5% NaCl 水溶液의 濃度변화가 複合組織鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 영향", 韓國海洋工學會誌, 第6卷, 第1號, pp. 140~147, (1992)
- 7) Kondo, Y. "Prediction of Fatigue Crack Initiation Life Based on Pit Growth", Corrosion, Vol. 45, No. 1, pp. 7~11, (1989)
- 8) 성장현, "복합조직강의 열처리 경로와 합금원소가 조직학적 인자와 인장성질에 미치는 영향", 부산대학교 박사학위논문, 1984.
- 9) 吳世旭, 廉永夏, "回轉굽힘을 받는 스프링鋼의 疲勞限度와 龜裂傳播에 관한 연구(제1보)", 大韓機械學會誌, 第14卷, 第2號, pp. 149~161, (1974)
- 10) Tokaji, K., Ogawa, T., Harada, Y., Ando, Z. "Limitation of Linear Elastic Fracture Mechanics for Grawing Small Fatigue Cracks and It's Dependence on Microstructure", Metal, Vol. 34, No. 385, pp. 1160~1166, (1985)
- 11) Nakajima, M., Kunieda, H., Tokaji, K. "Distributions of Fatigue Life and Corrosion Pit of Low Alloy Steel, SCM435 and SNCM439, in Corrosive Environment", JSME Trans. (A), Vol. 57, No. 544, pp. 2859~2865, (1991)
- 12) Kobayashi, H., Ishizaki, S., Gao, Hong-bin, "Near-Threshold Corrosion Fatigue Crack Growth Characteristics of High Strength Steel in Seawater", JSME Trans. (A), Vol. 52, No. 480, pp. 1778~1785, (1985)