

<論 文>

複合組織鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 3.5% NaCl 水溶液의 pH 와 母相粒徑의 效果

吳 世 旭* · 姜 鎬 珉**

(1987年 5月 22日 接受)

Effect of pH in 3.5% NaCl Aqueous Solution and Ferrite Grain Size on Corrosion Fatigue Fracture of Dual Phase Steel

Sae Wook Oh and Ho Min Kang

Key Words: Corrosion Fatigue Fracture(腐蝕疲勞破壞), Dual Phase Steel(複合組織鋼), Corrosion Fatigue Crack Propagation Rate(腐蝕疲勞크랙 傳播速度), Oxidation Corrosion Action(酸化腐蝕作用), Martensite Intergranular(마르텐사이트粒界), Corrosion Pit(腐蝕피트)

Abstract

Corrosion fatigue fracture with change in the grain size of M.E.F. dual phase steel is investigated in 3.5% NaCl aqueous solution at pH 2, 4, 6, 9, and 11. Generally speaking, decrease in corrosion fatigue life is strongly dependent on decrease in pH and slightly on the grain size. For the B material with the big grain size, the fatigue life is small due to its large reduction ratio of corrosion fatigue life. The influence of grain size on the reduction ratio of corrosion fatigue life is large at pH 11-6. While at pH 4-2 the reduction ratio of corrosion fatigue life only depends on the corrosion effect. The larger grain size and the less pH result in the greater influence on corrosion fatigue crack propagation rate. As pH decreases, the plateau portion in the crack propagation rate curves of the B material are distinct. Crack propagation rate curves become slow down at high ΔK range because crack closure effect by minute corrosion products inside crack causes the oxidation corrosion action less effective for a certain period of time. In A material with small grain size, fatigue life is increased in proportion with increase of martensite intergranular which brings forth restraining the crack propagation decreases crack propagation rate. Corrosion pit which is created in the surface of specimen is found at pH 6, 4 and 2 which is noticeable and the unevenness of the surface of the specimen becomes severe as pH decreases. The unevenness of corrosion fatigue fracture surface is severe as the effect of pH

* 正會員, 東亞大學校 工科學科 機械工學科

** 正會員, 東亞大學校 大學院

increases i.e. as pH decreases. In proportion with increase in the grain size and decrease in pH, the aspect of brittle fracture becomes evident.

1. 序 論

金屬材料들의 使用環境은 工業이 發達함에 따라 多樣해지고, 더욱 苛酷化 되었다. 이러한 環境에서 돌발적인 破壞를 未然에 防止하고 人命과 經濟的인 被害를 極少化하는 것이 必要하므로 低廉하고 優秀한 機械的인 性質을 가진 材料開發이 要望된다^(1,2).

腐蝕環境下에서 使用되는 機械構造物들의 安全設計와 壽命推定을 위하여 腐蝕疲勞破壞에 대한 많은 研究가 必要하다⁽³⁾. 腐蝕疲勞에 크게 影響을 미치는 因子들은 機械的, 金屬學的 및 環境 등으로 區分되어지며⁽⁴⁾, 특히 水性環境의 變化는 溶液의 純度(purity), 成分(composition), 溫度(temperature), pH, 溶存酸素(dissolved oxygen) 및 흐름速度(flow rate) 등에 依存한다.

Okada⁽⁵⁾ 등은 海水의 濃도에 따른 0.37% C 構造用鋼의 腐蝕疲勞 實驗을 하였고, Nishijima⁽⁶⁾ 등은 低合金鋼의 海水腐蝕 實驗下에서 周波數效果에 대하여 報告하였다. Komai^(7,8) 등은 海水의 濃度變化, 周波數 및 應力比 影響 등에 따른 스테인레스鋼의 腐蝕疲勞特性을 考察하였으며, Masuda⁽⁹⁾ 등은 回轉굽힘疲勞試驗下에서 腐蝕피트(pit) 形成에 따른 S 45 C 와 SCM 435 鋼의 腐蝕疲勞破壞機構를 明白히 하였다.

한편 高延性, 高強度의 特徵을 지닌 M.E.F. (Martensite Encapsulated islands of Ferrite) 複合組縮鋼의 공기중에서의 疲勞破壞特性에 관한 研究는 활발하나^(10,11) 腐蝕疲勞特性에 대한 研究는 아직 미흡한 상태이다. M.E.F. 複合組縮鋼을 海洋構造物用 材料로서 使用할 경우, 이 材料의 海水腐蝕 疲勞強度特性을 究明할 必要가 있다.

本 研究는 普通鋼材인 SS 41 鋼을 熱處理하여 얻은 M.E.F. 複合組縮鋼의 母相粒徑變化와 3.5% NaCl 水溶液의 pH 變化 條件下에서 반굽힘疲勞實驗을 하여 腐

蝕疲勞破壞에 미치는 影響에 대해 考察하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 材料 및 試驗片

本 實驗에 使用된 材料는 SS 41 인 直徑 20 mm 의 熱間壓延材이며, 그 化學成分은 Table 1 과 같다. 이 素材를 Fig. 1 과 같은 過程으로 熱處理하여, 마르텐사이트(martensite)가 페라이트(ferrite)를 둘러싼 M.E.F. 複合組縮鋼인 母相粒徑이 작은 A 材와 큰 B 材를 얻었다. Table 2 와 3 은 A 材와 B 材의 機械的 性質 및 微視組織의 定量的 評價를 나타낸 것이다. 이들 金屬組織에 대한 各 相의 硬度는 마이크로비커스硬度計(25 gf, 30 점)로 測定한 硬度의 平均값이다. Table 3 에 있어서 A 材는 B 材에 比하여 粒徑이 $\frac{1}{2}$ 이나 마르텐사이트의 體積率, 硬度 및 連結度는 각각 동일한 값을 나타내고 있다. 따라서 이들은 동일한 塑性拘束效果 및 微視的 內部應力을 가지나 母相粒徑이 상이한 複合組縮鋼이다. Fig. 2 는 疲勞試驗片이며, 疲勞破壞發生領域을 局限하고 크랙觀察을 하기 쉽도록 지름

Table 1 Chemical composition of specimen material(wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.20	0.12	0.85	0.01	0.012

Table 2 Mechanical properties of M.E.F. dual phase steel

Material	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
A	432	769.3	15.6	32.6
B	410	708.5	7.2	15.3

Table 3 Metallurgical properties of M.E.F. dual phase steel

Properties Series	Ferrite grain size (μm)	Martensite volume fraction (%)	Hardness (Hv), 25 gf			Connectivity (%)
			Martensite	Ferrite	Ratio	
A	31	52	543	192	2.8	97
B	63	52	541	192	2.8	95

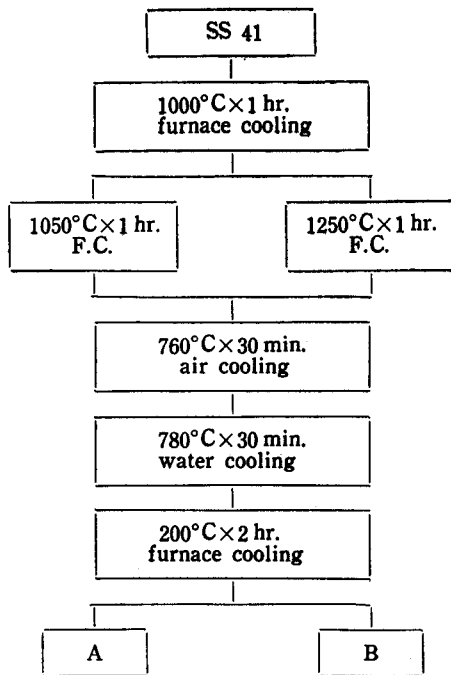


Fig. 1 Heat treatment process of M.E.F. dual phase steel

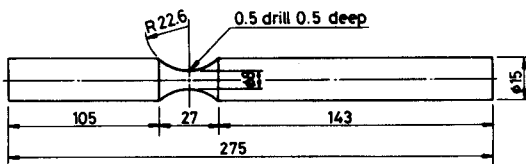


Fig. 2 Shape and dimension of fatigue test specimen (unit : mm)

0.5 mm, 깊이 0.5 mm 인 橫孔노치를 加工하였고, 表面을 에머리페이퍼(emery paper) 4/0 까지 포리싱(polishing)한 후 버핑(buffing)하였다.

2.2 海水腐蝕 疲勞試驗

疲勞試驗은 片持式 回轉굽힘 疲勞試驗機를 使用하였으며, 荷重波形은 正弦波形이고, 周波數는 減速機를 利用하여 4 Hz 로 하였다. 自由腐蝕條件인 人工海水中에서 腐蝕疲勞試驗을 하기 위하여 Fig. 3과 같은 人工海水循環裝置를 만들었다.

鋼의 腐蝕疲勞機構는 陽極溶解機構와 水素脆化機構로 區分되는데 이는 크랙이 形成되는 局部電池의 陽極 및 陰極反應에 直接關聯이 있다. 水溶性 腐蝕雰囲気에서 크랙先端은 陽極으로 作用하여 金屬이온이 溶液으로 溶解되며, 크랙안의 다른 지역은 陰極으로 作用한

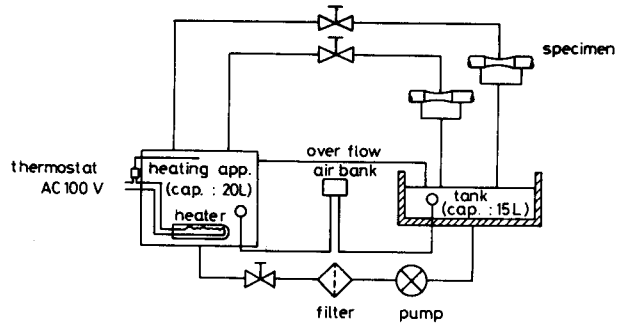
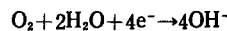
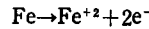


Fig. 3 Circulating system of solution used in corrosion fatigue tests

다. 溶存酸素가 있을 때는 溶存酸素가 水分子와 陽極으로 부터 金屬이온을 통해 供給되는 電子와 反應하여 OH⁻이온으로 陰極還元이 일어나는 것이 自由腐蝕條件이며, 化學적 反應은 다음과 같다⁽¹²⁾.



人工海水는 ASTM D1141-52의 規定을 参照하고, 淸류수에 NaCl을 添加하여 3.5% NaCl 水溶液을 만들었다. 이 水溶液의 溫度는 히팅裝置(heating apparatus)와 自動溫度調節裝置(thermostat)로써 30±1°C로 制御하고, pH를 2, 4, 6, 9 및 11로 變化시킬수 있게 HCl과 NaOH를 添加 하였으며, 일정시간 간격으로 pH를 WQC-1A 기기로써 測定하고, 調整하였다. 그리고 에어뱅크(air bank)를 利用하여 溶存酸素量을 7~7.2 ppm으로 유지하였으며, 3.5% NaCl 水溶液을 150 ml/min으로 供給하기 위해 펌프(pump)와 流量調節밸브를 使用하였다. 3.5% NaCl 水溶液을 疲勞試驗片에 直接注入시키기 위해 閉閉式 海水 챔버(chamber)를 附着하였으며, 腐蝕疲勞 試驗中에 생기는 腐蝕生成物을 제거하기 위해 필터(filter)를 使用하였다. 크랙길이 測定은 배율이 50 배인 移動望遠顯微鏡(travelling microscope)으로 하였으며, 破面觀察은 走査型電子顯微鏡(S.E.M.)을 利用하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 母相粒徑과 pH 變化에 따른 疲勞特性

複合組織鋼의 母相粒徑이 相異한 A材 및 B材를 3.5% NaCl 水溶液중에서 pH와 作用應力레벨을 變化시켜 片持式 回轉굽힘 疲勞實驗한 疲勞限度曲線과 空氣중에서 實驗한 同一 材料의 疲勞限度曲線을 Fig. 4와 5에 나타내었다. 이들의 疲勞限度曲線은 空氣중의 경우에 비하여 疲勞壽命이 顯著하게 낮을 뿐만 아니라

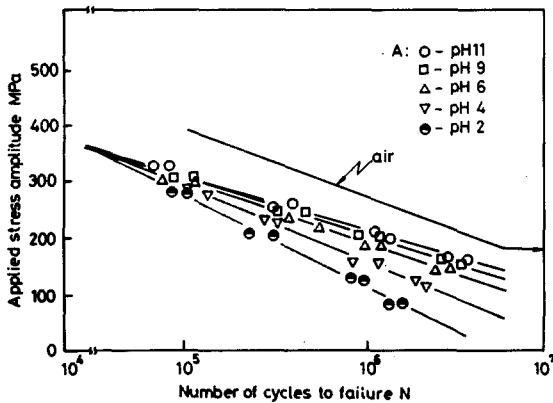


Fig. 4 S-N curves of M.E.F. dual phase steel(A)

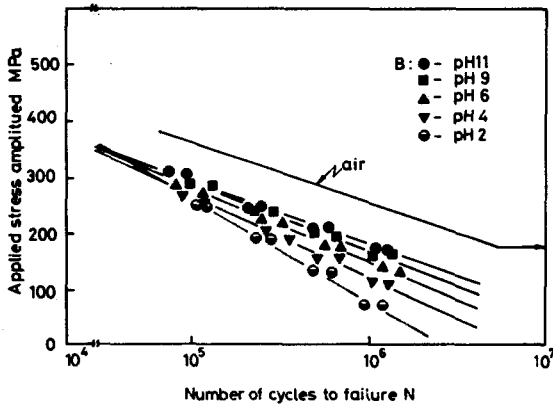


Fig. 5 S-N curves of M.E.F. dual phase steel(B)

疲労限度가 명확하지 않음을 알 수 있다. 이들 현상은 腐蝕溶媒와 金屬間의 電氣化學的 作用 및 機械的 疲労作用에 의한 것이다.

同一한 負荷應力에서 pH變化에 따른 A材, B材의 疲労壽命變化幅은 비슷하나 海水腐蝕에 의한 A材의 疲労壽命減少가 B材보다 적으며, 腐蝕疲労壽命이 긴 것을 나타낸다. pH 11, 9, 6, 4 및 2중에서 알칼리성 水溶液인 pH 11의 腐蝕疲労壽命이 가장 길며, 酸性水溶液인 pH 2에서는 알칼리성 水溶液에서 보다 負荷應力에 대한 疲労壽命의 減少現象이 크다. 이와 같이 疲労壽命減少現象이 알칼리성보다 酸性 水溶液이 큰 것은 疲労크랙 發生起點이 될 수 있는 腐蝕피트發生이 더 커진 結果라 생각된다.

Fig. 6은 pH와 應力레벨(196 MPa)에 따른 A材, B材의 腐蝕疲労 壽命減少率을 나타내고 있다. pH 11, 9, 6에서는 母相粒徑變化에 따른 腐蝕疲労 減少率의 差異가 심하나, pH 2로 갈수록 그 差異가 작아지고 pH 2에서는 A材 및 B材 모두 거의 一致하고 있다. 따라서 pH

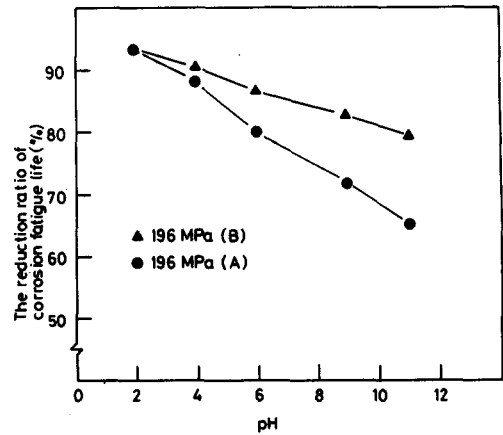


Fig. 6 The reduction ratio of corrosion fatigue life vs. pH of M.E.F. dual phase steel

11로부터 pH 2에 이르기까지 酸性化에 따라 腐蝕疲労 壽命減少率은 직선적으로 增加한다. 그리고 母相粒徑이 다른 A材 및 B材가 中性 및 알칼리성 霧團氣에서는 結晶粒徑에 의한 影響이 있으나, 酸性 霧團氣에서는 結晶粒徑에 관계없이 腐蝕效果에만 크게 依存되며, 전체적으로 A材가 B材보다 腐蝕疲労壽命 減少率이 적음을 알 수 있다.

3.2 腐蝕疲労 크랙傳播 速度와 應力擴大係數 範圍와의 關係

Fig. 7과 8은 $\sigma=245$ MPa에서 pH變化에 따른 複合組織鋼 A材와 B材의 腐蝕疲労 크랙傳播 速度(da/dN)

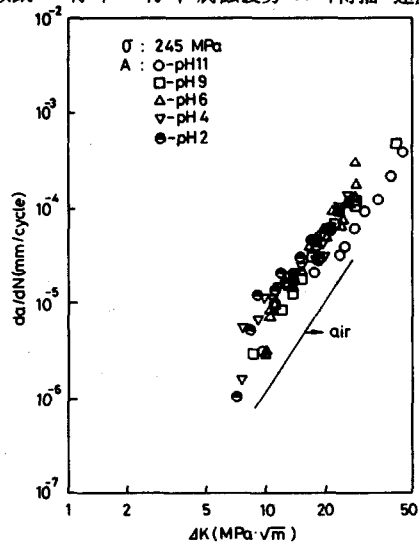


Fig. 7 Crack propagation rate vs. stress intensity factor range of M.E.F. dual phase steel(A)

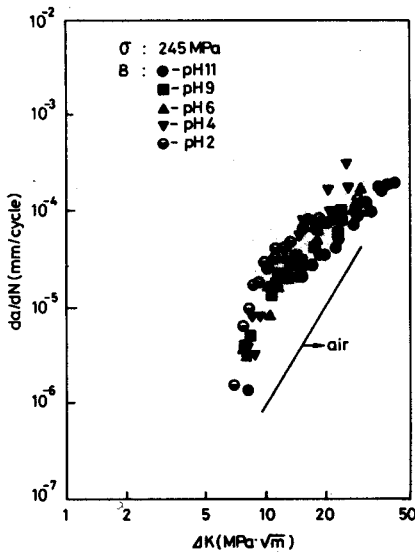
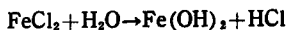
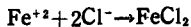


Fig. 8 Crack propagation rate vs. stress intensity factor range of M.E.F. dual phase steel (B)

dN 와 應力擴大係數範圍(ΔK)에 대해서 나타낸 것이다.

回轉굽힘疲勞試驗에 있어서 ΔK 관계식은 Oh⁽¹³⁾에 의하면, 丸棒表面에서의 圓孔周邊應力 및 크랙先端의 應力分布는 無限平板中央에 圓孔 또는 크랙이 있는 경우 引張應力を 받는 것과 恰似하여 $\Delta K = \sigma \sqrt{\pi a}$ 를 適用할 수 있다고 하였고, 그 후 ToKaji^(14, 15) 등은 負荷應력이 降伏應력과 비교해서 작으면, 回轉굽힘 荷重下的 疲勞크랙 傳播特性은 위의 式에 따라 一意的으로 評價할 수 있다는 報告에 따라 本 實驗에 사용된 ΔK 는 前述한 것과 같이 計算하였다.

Fig. 7과 8에서 母相粒徑의 變化에 따라 疲勞크랙 傳播舉動에 미치는 pH의 影響이 달라지며, A材의 疲勞크랙 傳播舉動이 B材보다 pH의 影響이 적음을 알 수 있다. 低 ΔK 영역에서는 펌프作用效果⁽¹⁶⁾가 적어져 크랙안의 溶液濃度는 外部表面의 溶液과 다르게 되며 다음과 같은 反應이 일어날 수 있다.



그러므로 크랙內部에서는 溶液의 pH가 낮아져 局部的인 酸性化가 助長되고, 크랙先端에서 水素濃度가 높아짐에 따라 水素吸着이 容易해지고 크랙先端內로 水素浸透 및 擴散이 쉬워지게 된다.

$\Delta K \approx 10 MPa \cdot \sqrt{m}$ 이하의 低 ΔK 영역에서 ΔK -increase 법인 本 實驗結果, 空氣中에서는 結果 ΔK_{th} 가 明確히 나타나지 않은 반면, 腐蝕疲勞크랙의 傳播

曲線에서 結果 ΔK_{th} 가 나타난 것은 腐蝕피트가 應力集中源이 되어 微小크랙이 發生되었기 때문으로 생각된다. 그러나 ΔK 가 커짐에 따라 펌프作用 效果가 커짐으로써 pH가 다시 回復되어 크랙先端에서의 陰極反應은 다시 溶存酸素의 還元反應이 우세해지면서 크랙成長은 陽極溶解機構의 지배를 받게 된다. I, II 영역에서는 海水腐蝕에 의한 影響을 강하게 받으나, II 영역의 腐蝕疲勞 크랙傳播 過程에서 크랙傳播 速度의 플롯(plot)점들이 스캐터링(scattering)하게 變化되는 것은 材料內에 남아 있는 微小크랙뿐만 아니라, 腐蝕피트에 의한 材料의 不均一性 때문이라고 생각된다. III 영역에서는 매우 큰 ΔK 영역이므로 海水腐蝕에 의한 影響보다 機械的 疲勞가 강하게 作用하게 된다.

pH 2의 高 ΔK 영역에서는 크랙 傳播速度 曲線이 水酸化되는 경향이 있고 B材의 경우 더욱 뚜렷함을 볼 수 있다. 腐蝕雰圍氣에서 反復荷重을 받게 되면 限界速度 이하의 低速이 될수록 高 ΔK 영역에서 크랙 傳播速度 曲線의 水平部가 뚜렷해지며, 水平部길이 증가한다고 알려져 있다⁽¹⁷⁾. 本 實驗에서 B材의 경우 pH 11로부터 pH 2까지 pH減少에 따라 크랙 傳播速度 曲線의 水平部도 뚜렷해지며 高 ΔK 영역에서 水平部가 시작되고 水平부길이도 증가하였다. 疲勞크랙 傳播速度는 pH의 증가에 따라 減少함을 알 수 있으며, 同一 ΔK 영역에서 pH 2, 4, 6보다 pH 6, 9, 11의 腐蝕 疲勞크랙 傳播速度의 減少幅이 적음을 알 수 있다. 따라서 알칼리雰圍氣에서는 局部的인 크랙 內部的 酸性化를 妨害하므로써 腐蝕 疲勞크랙 傳播舉動을 改善시키는 것으로 생각된다.

Fig. 9, 10, 11, 12 및 13은 疲勞크랙 傳播速度와 應力擴大係數範圍의 관계에 있어서 pH에 대한 母相粒徑變化의 影響을 表示하였다.

母相粒徑이 큰 B材는 A材보다 중간중간의 크랙傳播 速度曲線의 水酸化 경향이 증가하고, pH 2의 高 ΔK 영역에서 B材는 크랙 傳播速度 曲線의 水平部가 가장 뚜렷함을 알 수 있다. 이는 粒徑이 큰 B材가 腐蝕疲勞 크랙傳播 特性에 미치는 環境要因의 影響을 많이 받는 것을 의미한다. 腐蝕疲勞 試驗에서 크랙 傳播速度 鈍化現象 즉 크랙 傳播速度 曲線水酸化 現象은 크랙 닫힘 現象, 局部的인 塑性域의 影響 및 微細組織에 의한 現象으로 區分되어 지는데 腐蝕生成物에 의한 크랙 傳播速度 鈍化現象의 機構를 圖式的으로 나타내면 Fig. 14의 (a)~(d)와 같다⁽¹⁸⁾.

먼저 (a)와 같이 試驗始作 후, 크랙傳播에 따라 크랙 內部에서 $FeOOH$ 가 生成되면, (b)에서는 크랙內部가 $FeOOH$ 로 充滿하게 되고, $FeOOH$ 는 多孔質이므로

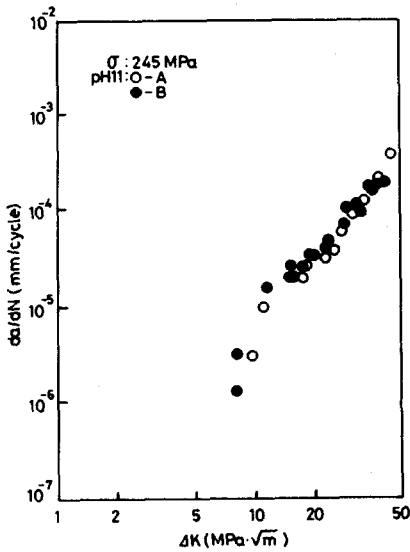


Fig. 9 The effect of ferrite grain size of M.E.F. dual phase steel about pH 11 in crack propagation rate vs. stress intensity factor range

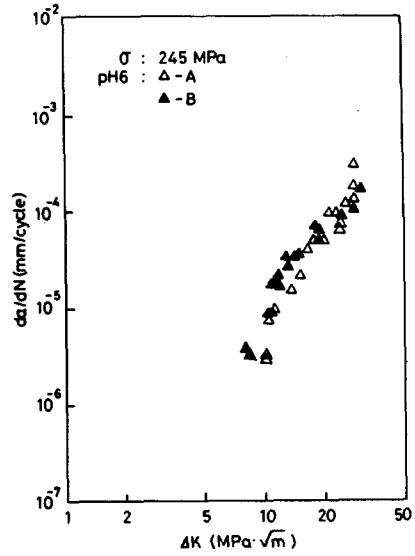


Fig. 11 The effect of ferrite grain size of M.E.F. dual phase steel about pH 6 in crack propagation rate vs. stress intensity factor range

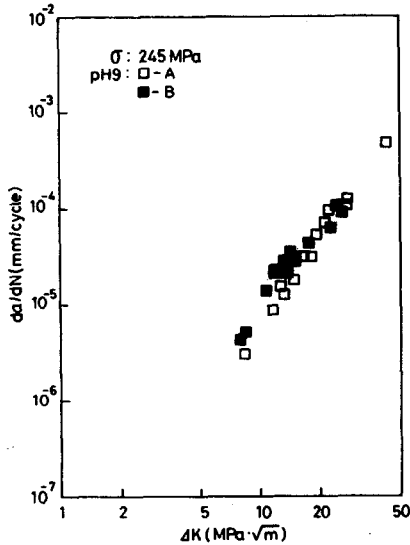


Fig. 10 The effect of ferrite grain size of M.E.F. dual phase steel about pH 9 in crack propagation rate vs. stress intensity factor range

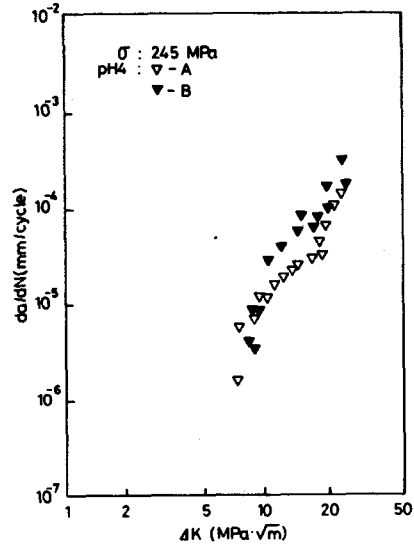


Fig. 12 The effect of ferrite grain size of M.E.F. dual phase steel about pH 4 in crack propagation rate vs. stress intensity factor range

多量の海水를 포함하여 縱彈性係數가 낮은 粘彈性體로 되며, 이때 크랙은 일시적으로 鈍化하게 된다. (c)에서는 多量の FeOOH가 生成됨에 따라 크랙 内部의 溶存酸素濃度가 低下하며, 外部로 부터 溶存酸素流入을 阻止하여 FeOOH는 還元되어 Fe₃O₄가 된다. 그리

고 (d)에서는 크랙 근처에서 溶存酸素의 供給이 어렵고 FeOOH의 生成이 계속되어 크랙 内部의 溶存酸素의 流入이 阻止되어 酸化腐蝕作用이 일시적으로 鈍化된다. M.E.F.複合組織鋼의 母相인 페라이트는 크랙 傳播에 대해 敏感하나, 제 2상인 마르텐사이트는 크랙 傳播을 阻

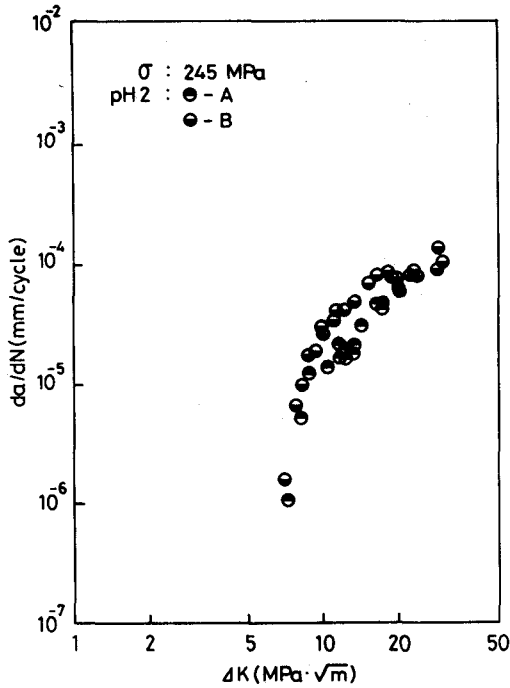


Fig. 13 The effect of ferrite grain size of M.E.F. dual phase steel about pH in crack propagation rate vs. stress intensity factor range

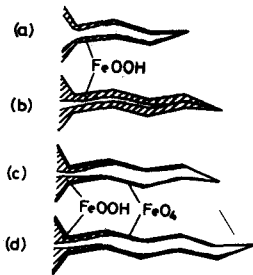
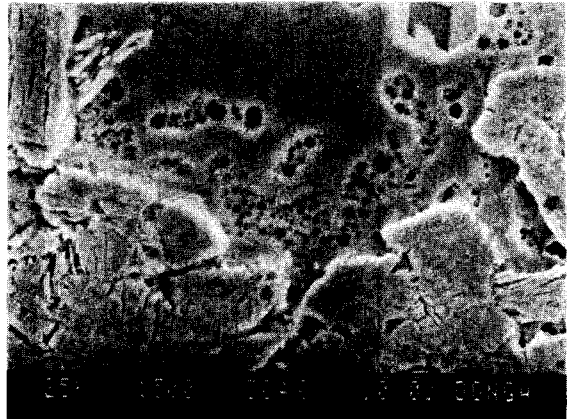


Fig. 14 Schematic diagram of corrosion product nucleation and crack closure

止하는 역할을 하므로써 크랙 傳播가 페라이트와 마르텐사이트 粒界에서 일시적으로 멈추어지는 것으로 생각된다. 粒徑이 작은 A 材의 경우, 크랙 傳播 阻止 역할을 하는 마르텐사이트 粒界의 증가가 크랙 傳播 速度를 減少시키므로 疲勞壽命이 증가한다.

4. 破面考察

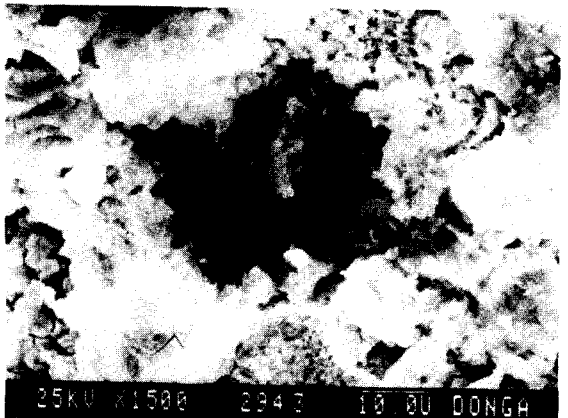
Fig. 15는 pH變化에 따른 A 材의 試驗片表面의 腐蝕피트形狀을 나타낸 것으로 pH가 적어짐에 따라 腐蝕피트크기가 커짐을 알 수 있다. pH 11에서는 腐蝕疲



(a) pH 11, $N_f=1.6 \times 10^6$



(b) pH 6, $N_f=9.2 \times 10^5$



(c) pH 2, $N_f=3.2 \times 10^5$

Fig. 15 Corrosion surfaces of specimen in A material ($\sigma=196$ MPa)

勞壽命短縮의 主要原因인 腐蝕피트가 觀察되지 않으며 이것은 알칼리성 霧圈氣이므로 酸性化의 助長이 抑制되어 腐蝕피트가 생기지 않은 것으로 보인다. 그리고 pH 2는 pH 6보다 腐蝕에 의한 表面腐蝕面의 凹凸이 심하다.

Fig. 16은 pH 6인 A材의 疲勞破斷面으로 腐蝕피트인 "A"部分이 應力集中源이 되어 局部的인 微小크랙이 發生하여 主크랙과 連結, 傳播되는 것으로 생각된다.

Fig. 17은 應力레벨이 245 MPa인 $\Delta K \approx 22 \text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ 에서의 pH變化에 따른 A, B材의 疲勞破斷面을 觀察한 것이다. pH 11에서 破面이 pH 6, 2보다 腐蝕에 의한 凹凸이 작은 平坦한 것을 알 수 있다. pH 6에서는 pH 11에서 보다 疲勞破斷面의 凹凸이 심하며, pH減少에 따라 腐蝕에 의한 破面의 損傷이 커짐을 보여준다. pH 2에서는 pH 11, 6에서 나타난 스트라이에이션(striation) 形狀이 腐蝕에 의하여 分辨하기 어려우며, pH 11, 6보다 더 脆性的 破斷面을 나타내고 있다. 따라서 B材가 A材보다 pH의 影響에 따른 疲勞破斷面의

凹凸이 심한 경향이 있다. 또한 母相粒徑의 증가 및 pH의 減少에 따라 脆性的 破壞樣相이 증가되는 것을 알 수 있다.

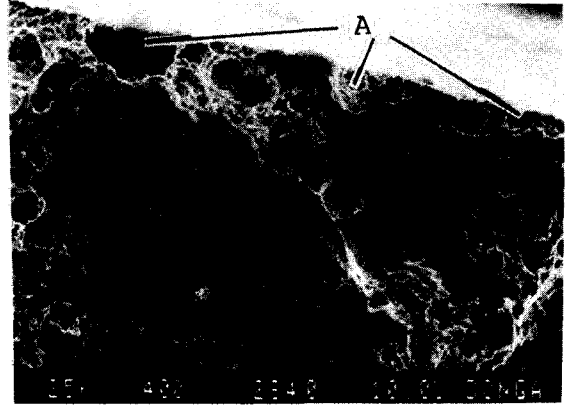
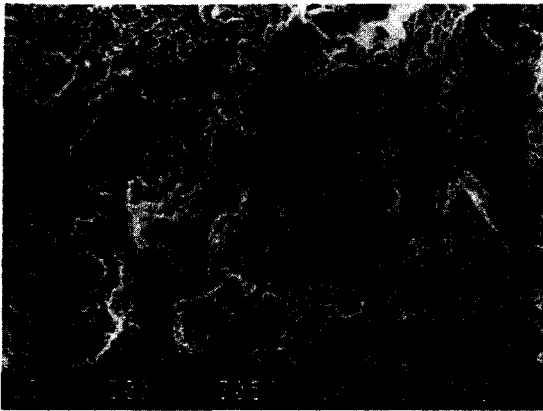
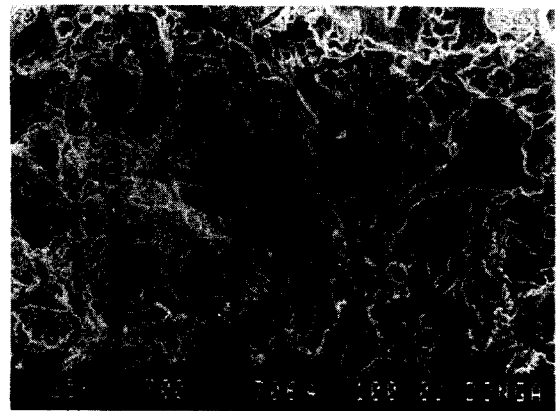


Fig. 16 Corrosion fatigue fracture surface in A material ($\sigma=196 \text{MPa}$, $N_f=9.2 \times 10^5$)



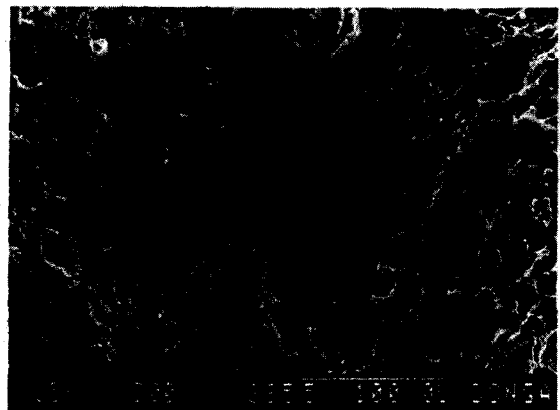
(a) pH 11, A



(b) pH 11, B



(c) pH 6, A



(d) pH 6, B

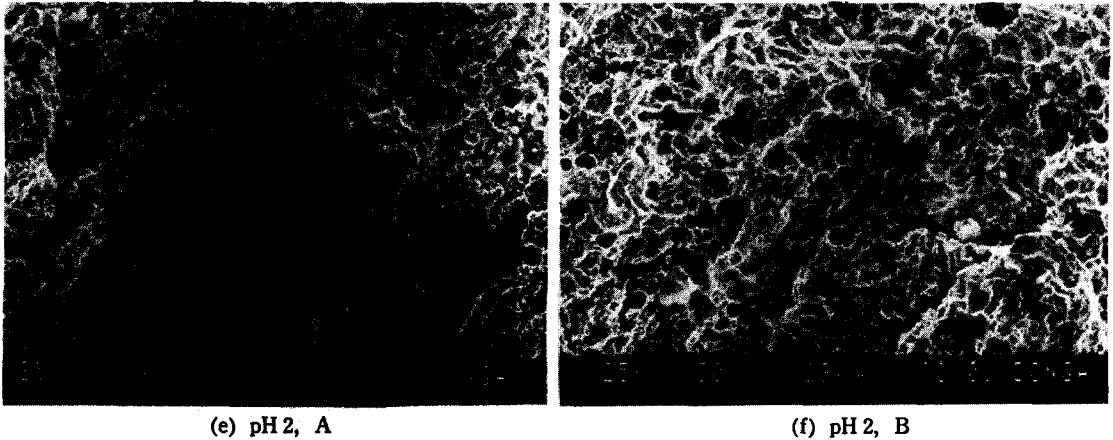


Fig. 17 Microscopic aspects of corrosion fatigue fracture surface ($\Delta K \approx 22 \text{MPa} \sqrt{m}$)

5. 結 論

普通鋼材인 SS 41 鋼을 熱處理하여 얻은 M.E.F. 複合組織鋼의 母相粒徑 變化와 3.5% NaCl 水溶液의 pH 變化 條件下에서의 반복굽힘實驗을 하여 腐蝕疲勞破壞에 미치는 影響에 대해 實驗·考察한 結果는 다음과 같다.

(1) 3.5% NaCl 水溶液中에서의 疲勞壽命 減少는 pH 減少變化에 크게 依存하고 粒徑變化的 依存性은 적다. 粒徑이 큰 B 材가 疲勞壽命 減少率이 크므로 疲勞壽命이 짧다.

(2) 疲勞壽命 減少率에 미치는 粒徑의 影響은 中性 및 알칼리성 雰囲気 (pH 11~6)에서는 크나, 酸性 雰囲気에서는 腐蝕效果에만 依存됨을 알 수 있다.

(3) 疲勞크랙 傳播速度에 미치는 粒徑과 pH 變化的 影響은 粒徑이 클수록 pH가 減少할수록 크다. pH 減少에 따라 B 材의 경우 高 ΔK 영역에서 크랙傳播 速度 曲線의 水平部가 뚜렷해진다.

(4) 크랙傳播 速度曲線의 鈍化現象은 크랙안의 微細한 腐蝕生成物에 의한 크랙단립 效果로 酸化腐蝕 作用이 일시적으로 鈍化하기 때문이다.

(5) 粒徑이 작은 A 材는 크랙 傳播阻止 역할을 하는 마르텐사이트粒의 증가가 크랙 傳播速度를 減少시키므로 疲勞壽命이 증가한다.

(6) 表面의 腐蝕피트는 中性 및 酸性 雰囲気에서 發生하고 pH 減少에 따라 顯著하며 表面 凹凸이 甚化된다.

(7) 腐蝕疲勞破斷面은 pH 影響에 따른 凹凸이 심하며, 母相粒徑의 증가 및 pH 減少에 따라 脆性的 破壞 樣相이 뚜렷해진다.

參 考 文 獻

- (1) Rollins, V., et al., 1963, "Some Factors Affecting the Initiation and Propagation of Corrosion Fatigue Cracks in High Carbon Steel", Metallurgia, Vol. 75, No. 450, pp.147~154.
- (2) 駒井謙治郎, 1983, "海洋環境下の鐵鋼の腐蝕疲勞" 第1回シンポジウム前刷集, 鐵鋼の環境強度部會 pp. 1~8.
- (3) Hartt, W.H., Tennant, J.S., and Hooper, W.C., 1978, "Solution Chemistry Modification within Corrosion-Fatigue Cracks", Corrosion-Fatigue Technology, ASTM STP 642, H.L. Craig, Tr., T.W. Crooker, and D.W. Hoepfner, Eds., American Society for Testing and Materials, pp.5~18.
- (4) 日本鐵鋼協會, 1981, "鐵鋼材料, 試驗·分析", 第3版 鐵鋼便覽, 第4卷, 丸善株式會社, 東京, pp. 360~363.
- (5) Okada, T., and Hattori, S., 1985, "Relation between Concentration of Salt Water and Corrosion Fatigue Strength on 0.37 Percent Carbon Structural Steel", Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME, Vol. 107, pp. 235~239.
- (6) Nishijima, S., Abe, T., Masuda, C., Hirukawa, H., 1985, "Corrosion Fatigue Property and Frequency Effect of Low Alloy Steels in Salt Water under Rotating Bending", JSME(A), Vol. 51, No. 461, pp.156~160.

- (7) 遠藤吉郎, 駒井謙治郎, 村山 茂, 1982, “ステンレス鋼の腐蝕疲労き裂進展に及ぼす塩素イオン濃度の影響”, 日本機械學會論文集(A編), 第48巻, 第436號, pp.1489~1495.
- (8) Komai, K., Nagano, S., 1986, “Influence of Stress Cycle Frequency and Stress Ratio on Corrosion Product-Induced Wedge Effects”, JSME(A), Vol. 52, No. 476, pp.867~874.
- (9) Masuda, C., Nishijima, S., Abe, T., Sumiyoshi, H., 1984, “On Corrosion Fatigue Mechanisms for S45C and SCM435 Steels in Rotating Bending”, JSME(A), Vol. 50, No. 453, pp.1019~1025.
- (10) 吳世旭, 姜鎬珉, 1985, “複合組織鋼의 母相粒徑과 軸斷面形狀이 破壞舉動에 미치는 影響”, 東亞大學校 東亞論叢, 第22輯, 自然科學篇, pp.395~409.
- (11) 金楨圭, 黃敦永, 1986, “微視組織에 敏感한 균열 단합 현상”, 大韓機械學會論文集, 第10巻, 第6號, pp.898~905.
- (12) Jaske, C.E., Brook, D., Salater, J.E., and Anderson, W.E., 1978, “Corrosion Fatigue of Structural Steels in Seawater and for Offshore Applications”, Corrosion-Fatigue Technology, ASTM STP 642, H.L. Craig, Jr., T.W. Crooker, and D.W. Hoepfner, Eds., American Society for Testing and Materials, pp.19~47.
- (13) 吳世旭, 廉永夏, 1974, “回轉굽힘을 받는 스프링鋼의 疲勞破壞와 크랙傳播에 관한 研究(第1報)”, 大韓機械學會誌, 第14巻, 第2號, pp.149~161.
- (14) Tokaji, K., Ogawa, T., Harada, Y., Ando, Z., 1985, “Limitation of Linear Elastic Fracture Mechanics for Growing Small Fatigue Cracks and its Dependence on Microstructure”, Metal, Vol. 34, No. 385, pp.1160~1166.
- (15) Tokaji, K., Ogawa, T., Harada, Y., 1986, “Evaluation on Limitation of Linear Elastic Fracture Mechanics for Small Fatigue Cracks under Rotating Bending”, Metal, Vol. 35, No. 391, pp.394~400.
- (16) Austen, I.M. and Walker, E.F., 1977, “Influence of Environment on Fatigue”, IMech E/SEE Joint Conf., London, c98.
- (17) American Society for Metals, 1985, “Metals Handbook® Ninth Edition”, Mechanical Testing, Vol. 8, pp.403~410.
- (18) Kobayashi, H., Ishizaki, S., Gao, H.B., 1986, “Near-Threshold Corrosion Fatigue Crack Growth Characteristics of High Strength Steel in Seawater”, JSME(A), Vol. 52, No. 480, pp.1778~1785.