

複合組織鋼의 腐蝕피트成長特性에 미치는 食鹽水濃度の 影響⁺

吳世旭* · 姜鎬琪** · 金泰萬** · 都映旼**

(1988年 10月 18日 接受)

Influence of Salt Solution Concentration on Corrosion Pit Growth Characteristic of Dual Phase Steel

Sae-Wook Oh, Ho-Min Kang, Tae-Man Kim and Young-Min Do

Key Words: Corrosion Pit(腐蝕 피트), Martensite Phase(마르텐사이트相), Hemispherical Pit(半球狀 피트), Salt Solution Concentration(食鹽水濃度), Corrosion Pit Depth Growth Rate(腐蝕피트깊이成長速度)

Abstract

In order to investigate the corrosion pit occurrence and growth characteristic of M.E.F. (martensite encapsulated islands of ferrite) dual phase steel was made with a suitable heat treatment of raw material(SS41), a corrosion fatigue test was performed under rotary bending in the salt solution having a concentration from 0.01 wt percent to 3.5 wt percent. The fatigue strength of dual phase steel was remarkably decreased with an increase in concentration of salt solution; approximately from 63% to 80% in case of dual phase steel and from 40% to 71% in case of raw material. Corrosion pit occurred in the martensite phase and fatigue cracks from corrosion pits were selectively propagated in martensite phases. In the observation of corrosion pits at the origin of fatigue cracks, it had been found that corrosion pits were grown into hemispherical pits and a/c (the surface diameter, $2c$ and the depth, a of corrosion pit) was about 1.0~1.5 regardless of the variation of salt solution concentration. The difference of corrosion pit depth growth rate was increased with an increase in concentration of salt solution according to an increase in stress level.

1. 緒 論

構造用鋼의 腐蝕疲勞破壞는 주로 濕式腐蝕環境 등의 影響을 받아 壽命短縮 및 急速破壞를 크게 促進한다는 것이 잘 알려진 사실이며, 이들은 腐

蝕水溶液의 腐蝕液, 溫度, pH, 濃度, 溶存酸素量, 흐름속도 등 여러 因子의 複合에 의하여 복잡하게 變化한다.

이러한 腐蝕水溶液의 因子들에 의한 腐蝕疲勞強度의 特性에 대해서 究明하려면 各 因子만의 影響들을 광범위하게 調査하여 綜合的인 考察이 요하

+1988年度 韓國海洋工學會 春季學術大會 發表(1988年 6月)

* 正會員, 東亞大學校 工科大学 機械工學科

** 正會員, 東亞大學校 大學院

므로 많은 影響 因子에 의한 研究結果들이 發表되어 集積되고 있다. 특히 海洋構造物들이 바다 또는 海邊에서 使用되는 경우는 海水 및 海水霧圍氣의 腐蝕을 받아 壽命의 短縮과 不意의 破損事故 등을 發生한 事例가 많으므로 海水, 人工海水 및 食鹽水 등의 腐蝕疲勞破壞에 관한 特性을 究明할 필요가 있다. 岡田¹⁾ 등은 HCl+NaCl, NaOH+HCl 溶液中의 pH와 S35C炭素鋼의 비틀림腐蝕疲勞強度의 關係에 대해서 報告한 바 있고, 服部²⁾ 등은 S35C탄소강의 腐蝕疲勞強度에 미치는 食鹽水濃度の 影響에 관한 研究를 하였다. 增田³⁾ 등은 食鹽水와 이온交換水中의 S45C, SCM435鋼의 회전굽힘 腐蝕疲勞機構에 대해 報告하였으며, Saito⁴⁾는 3.5% NaCl水溶液의 溫度를 變化시켜 0.18%가 포함된 Ni-Cr-Mo低合金鋼의 腐蝕疲勞 크랙傳播速度에 대해서 報告한 바가 있다.

최근 構造用鋼을 熱處理에 의하여 複合組織 M. E.F.(martensite encapsulated islands of ferrite)를 開發하여, 低廉한 材料를 사용한 高强度, 輕量化 鋼材로써 各광을 받아 自動車用 鋼板 및 일반 構造物에 광범위하게 使用하고 있다. 이에 따라 M. E.F.鋼의 疲勞強度에 관한 實驗報告들이 급격히 增加하여 많은 研究結果의 集積을 가지게 되었다.^{5),6)} 그러나 M.E.F.鋼의 腐蝕疲勞壽命에 미치는 海水 및 食鹽水の 影響 등에 관한 研究는 볼 수 없으므로 이에 관한 研究가 絶실히 要望되어 필자는 이에 관한 試驗·報告를 한 바 있다.

Oh 등은 3.5% NaCl水溶液中的 海中 및 海面狀

態에서 反復굽힘疲勞試驗하여 複合組織鋼의 疲勞破壞強度特性에 대해서 報告하였으며,⁷⁾ 複合組織鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 3.5% NaCl水溶液의 pH와 母相粒徑의 効果에 대해서 考察하였다.⁸⁾ 그리고 3.5% NaCl水溶液의 pH가 複合組織鋼과 SS41鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 影響⁹⁾ 등에 관한 實驗·報告를 하였다.

腐蝕疲勞破壞特性을 精確히 파악하기 위해서는 複合組織鋼의 腐蝕피트發生過程과 이로부터 微小 크랙의 發生 및 成長과 連結되는 微視크랙 舉動이 明確히 究明되어야 한다. 그러나 이에 관한 報告資料를 찾아 볼 수 없으므로 實驗·研究의 필요가 있다.

本 研究는 SS41鋼을 熱處理하여 얻은 複合組織鋼을 食鹽水濃度 變化에 따라 회전굽힘腐蝕疲勞實驗을 하여 破斷面을 走査型電子顯微鏡으로 觀察하고 腐蝕疲勞크랙發生의 起點이 되는 腐蝕피트 및 微小크랙의 發生過程과 成長에 대해서 實驗·考察 하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

本 實驗에 使用된 素材는 直徑20mm의 熱間壓 延材인 SS41鋼이고, 이의 化學成分은 Table 1과 같다. 이 素材를 Fig. 1과 같은 過程으로 熱處理하여 마르텐사이트(martensite)가 페라이트(ferrite)를 둘러싼 M.E.F.複合組織鋼을 얻었다. Table 2는 母材(raw material; R.M.)와 M.E.F.

Table 1 Chemical composition of SS 41 steel (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.18	0.12	0.85	0.005	0.016

Table 2 Mechanical properties of raw material (R.M.) and M.E.F. in SS41 steel

Material	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
R.M.	489	45.7	69.5
M.E.F.	751	17.7	48.3

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

Properties series	Ferrite grain size (μm)	Martensite volume fraction (%)	Hardness(Hv), 25gf			Connectivity (%)
			Martensite	Ferrite	Ratio	
M.E.F.	31	52	543	192	2.8	97

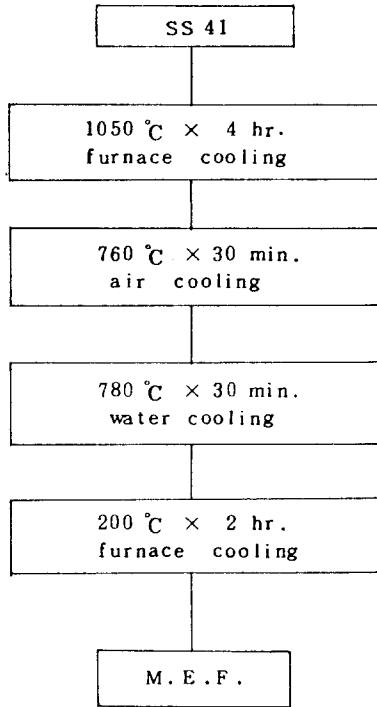


Fig. 1 Heat treatment process of M.E.F. dual phase steel

複合組織鋼의 機械的 性質을 나타내며, Table 3 은 M.E.F.複合組織鋼의 마르텐사이트 體積率, 硬度比 및 連結度의 分析結果를 나타낸 것이다. 疲勞試驗片의 形狀 및 치수는 Fig. 2와 같이 機械加工하였으며, 疲勞試驗은 片持式 회전굽힘疲勞試驗機를 使用하였다. 試驗 周波數는 減速機를 使用하여 4Hz로 하였으며, 荷重波形은 兩振 正弦波이다. 自由腐蝕條件의 腐蝕水溶液은 食鹽水濃度(0.01%, 1%, 3.5%)를 變化시켰고, 腐蝕水溶液의 循環은 Fig. 3과 같이 循環裝置를 使用하였다. 食鹽水의 溫度는 加熱裝置(heating app.)와 自動溫度調節裝置(thermostat)로써 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 制御하고, 濃度를 變化시킬 수 있도록 NaCl量을 添加하였으며, 에어뱅크(air bank)를 利用하여 溶存酸素量을 7~7.

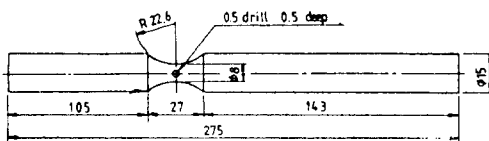


Fig. 2 Shape and dimension of fatigue test specimen (unit : mm)

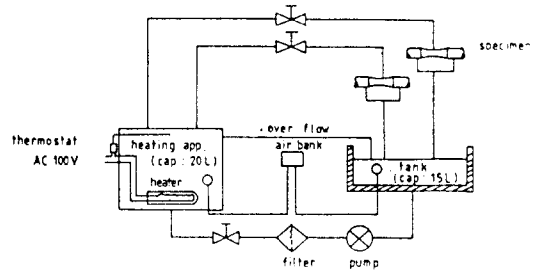


Fig. 3 Circulating system of solution used in corrosion fatigue tests

2ppm으로 유지하였으며, 水溶液을 150ml/min으로 供給하기 위해 펌프와 流量調節밸브를 使用하였다. 水溶液을 疲勞試驗片에 直接 注入시키기 위해 開閉式食鹽水챔버(chamber)를 附着하였으며, 腐蝕生成物을 제거하기 위해 필터(filter)를 使用하였다. 그리고 일정한 시간 간격으로 pH, ppm 및 溫度를 水質測定器로서 測定하고 調整하였다. 表面腐蝕피트(pit), 크랙 및 破斷面觀察은 S.E.M.을 利用하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 食鹽水濃度에 따른 疲勞破壞特性

SS41鋼의 母材(R.M.)와 M.E.F.複合組織鋼을 0.01%, 1%, 3.5% NaCl水溶液中 및 空氣中에서 作用應力레벨을 變化시켜 片持式 회전굽힘疲勞實驗한 疲勞限度曲線을 Fig. 4와 5에 나타내었다.

食鹽水濃度の 變化(0.01, 1, 3.5%)에 의한 複合組織鋼의 疲勞強度는 空氣中에 比하여 低下하고, 濃度增加에 따라 더욱 현저히 低下한다. 疲勞壽命 10^6 을 基準으로 한 母材의 疲勞強度는 약 71~40%, 複合組織鋼은 약 80~63% 範圍를 나타내어 複合組織鋼이 母材보다 腐蝕疲勞強度가 높다.

前報에 의하면⁸⁾ pH變化에 따른 腐蝕疲勞實驗에서 pH11, 9, 6, 4 및 2로 변함에 따라 各 應力레벨에서 腐蝕疲勞壽命이 현저하게 減少하는 동시에 疲勞限度曲線의 傾斜는 급경사를 이룬다. 周波數變化에 따른 腐蝕疲勞實驗報告에 의하면¹⁰⁾ 高周波數(30Hz)에서 低周波數(0.03Hz)로 변함에 따라 腐蝕疲勞壽命이 減少하며, 그 變化幅도 增加하여 급경사를 이룬다고 하였다. 이와 같은 傾向은 크랙先端이 열린 狀態로 腐蝕環境에 접하는 시간이

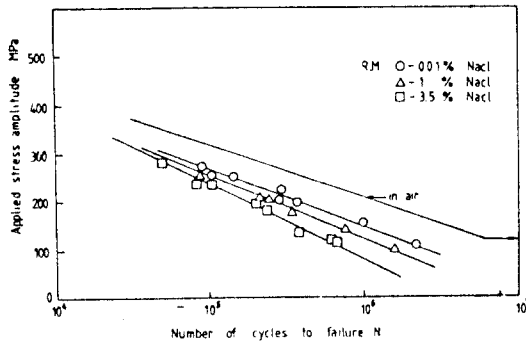


Fig. 4 S-N curves of raw material steel (SS41)

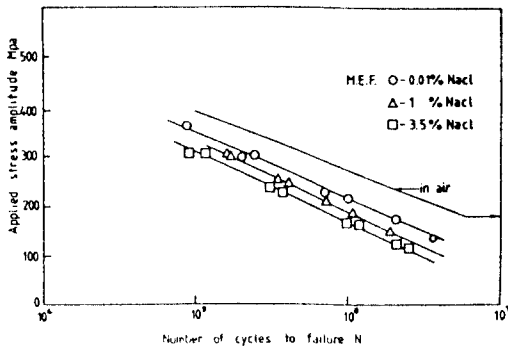
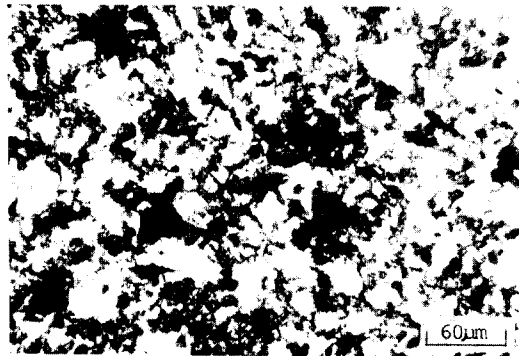


Fig. 5 S-N curves of M.E.F. dual phase steel

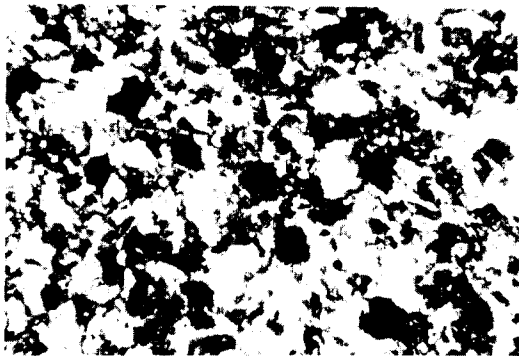
길어짐에 따라 腐蝕이 상대적으로 크게 作用한 때문이라고 생각된다. 本 實驗의 경우 Fig. 4의 母材에서 低應力레벨이 高應力레벨보다 食鹽水濃度 增加에 따른 疲勞壽命減少의 變化幅이 크게 나타나 疲勞限度曲線의 傾斜角이 커지는 반면에 Fig. 5의 複合組織鋼은 應力레벨에 관계없이 疲勞限度曲線이 거의 平行을 이루어 食鹽水濃度 增加에 따른 壽命減少의 變化幅이 같아 진다. 이것은 複合組織鋼의 軟質相과 硬質相으로 된 2相組織의 特性과 關聯한 크랙傳播遲延作用의 影響으로 母材보다 腐蝕疲勞壽命이 큰 것으로 思料된다.

3.2 腐蝕피트의 發生

Fig. 6의 (a), (b)는 2相組織인 M.E.F. 複合組織鋼의 試驗片을 3.5% 食鹽水 溶液中에 24hr. 腐蝕시킨 후의 狀態를 나타낸 것이다. (a)는 Fig. 1의 熱處理過程에서 담금질까지 熱處理한 複合組織鋼이며, (b)는 뜨임까지 熱處理하여 얻은 複合組織鋼이다. (a), (b)에서 약 $30\mu m$ 의 腐蝕피트가 마르텐사이트 組織相에 우선적으로 보이며, (a)는 (b)보다 腐蝕피트數가 적게 發生하였다. 담금질



(a)



(b)

Fig. 6 Pits of M.E.F. dual phase steel corroded in 3.5% NaCl aqueous solution for 24hr

(a) Water quenching

(b) Water quenching + tempering

까지 熱處理하여 얻어진 複合組織鋼의 마르텐사이트 組織은 α -페라이트에 탄소가 過飽和된 準安定狀態의 組織이며, 異相析出이 적다. 그러나 담금질 및 뜨임까지 하여 얻어진 複合組織鋼의 마르텐사이트 組織은 異相析出이 前者보다 많을뿐만 아니라, 變態를 일부 進行시키므로 組織이 불균일하게 되기 때문에 耐蝕性이 나빠지고 局部腐蝕 등의 發生이 더 용이해지기 때문이다. 또 (a), (b)에서 모든 腐蝕피트는 마르텐사이트부분에서 생긴 것을 알 수 있다. 마르텐사이트 組織은 많은 라스(lath)가 모인 區域으로 대단히 일그러져 있고, 轉位가 높은 密度로 뒤엉킨 부분이 있으며, 모든 라스가 거의 같은 方位로 규칙있게 配列한 狀態로 되어있다. 그러므로 동일한 結晶面狀에 노출된 轉位, 空孔, 積層缺陷 등의 格子缺陷이 마르텐사이트가 페라이트보다 크므로 마르텐사이트부분에서 腐蝕피트가 생긴 것으로 생각된다.

3.3 腐蝕表面과 크랙進展의 關係

Fig. 7의 (a), (b), (c)는 應力레벨이 294MPa 및 食鹽水濃度變化(0.01, 1, 3.5%)에 따른 複合組織鋼의 試驗片 腐蝕表面을 觀察한것이다.

表面에 多數의 腐蝕피트가 동일 應力레벨에서 食鹽水濃度 變化에 關係없이 거의 같은 數의 微小 크랙이 分布하여 發生하며 이들을 起點으로 하고 微細크랙이 成長하면서 相互連結이 되는 것을 確

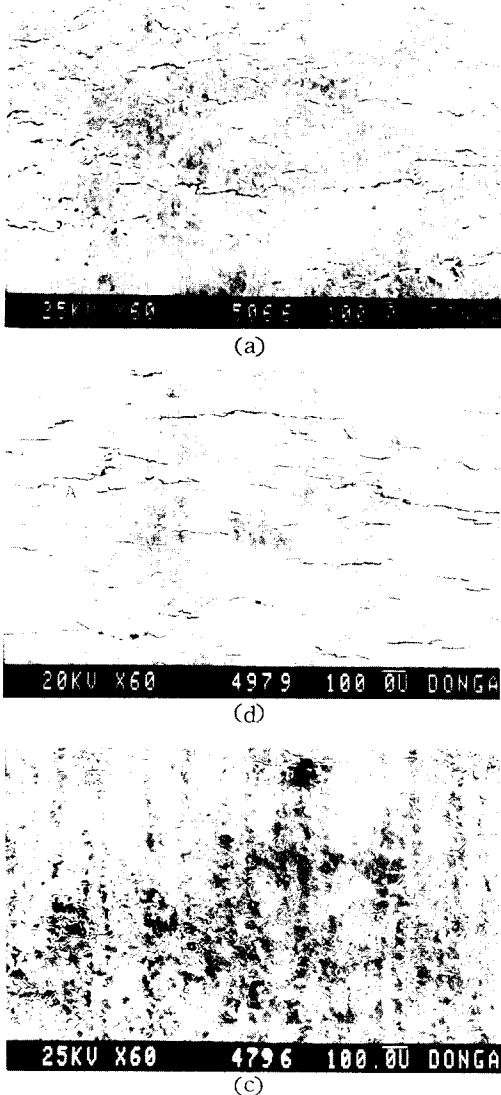


Fig. 7 Corrosion surface specimens of M.E.F. dual phase steel ($\sigma = 294MPa$)

- (a) 0.01% NaCl aqueous solution $N = 5.1 \times 10^5$
 (b) 1% NaCl aqueous solution, $N = 3.7 \times 10^5$
 (c) 3.5% NaCl aqueous solution, $N = 2 \times 10^5$

認할 수 있다. 破斷面の 圓周面 觀察을 통한 腐蝕 피트數는 食鹽水濃度 變化에 關係없이 거의 같은 數가 發生하는 것은 食鹽水濃度가 상이하더라도 破斷에 이르는 시간의 長短에 따라 破斷限界 腐蝕피트數에 까지 도달한 후 破斷한 것이기 때문이다. 따라서 일정應力과 일정시간에서 腐蝕피트發生數를 觀察한다면 반드시 食鹽水濃度가 增加할 수록 增加하는 傾向이 있을 것이다. 服部¹¹⁾등은 이에 關聯하여 腐蝕의 局所性에 注目한 構造用鋼의 腐蝕疲勞크랙의 發生 및 進展에 대한 實驗에서 食鹽水濃度 增加에 따라 腐蝕피트發生密度가 增加하여 微細크랙發生이 促進된다는 報告가 있었다.

微細크랙의 길이는 數미크론(μm)으로 부터 약 900 μm 에 이르기까지 大小 크랙이 多數 混在하고 있다. 平行하게 進展된 크랙의 間隔이 약 30 μm 의 정도이하의 경우에는 크랙의 合體가 이루어 지는 것으로 보이며, Fig. 7(b)의 "A"부분과 같이 크랙先端부분이 隣接한 크랙쪽으로 급격히 階段形으로 合體되는 傾向이 있다.

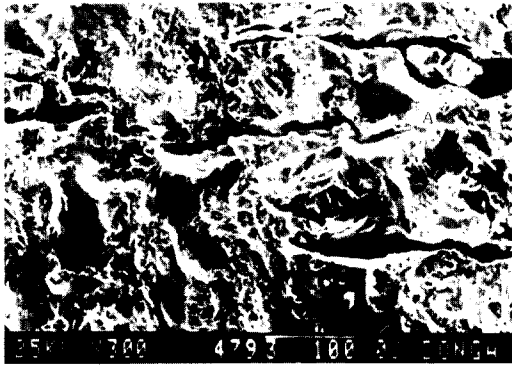
Fig. 8의 (a), (b)는 應力레벨이 196MPa에 대한 3.5% 食鹽水溶液中에 있어서의 複合組織鋼의 試驗片 表面의 腐蝕피트를 擴大·觀察한 것이다.

Fig. 8(a)와 같이 直徑이 약 70 μm 의 腐蝕피트를 起點으로 하여 應力軸의 直각방향으로 微小크랙의 發生 및 成長하는 것이 많다. Fig. 8 (b)는 微小크랙이 成長하면서 그 先端이 "A"부분에서 隣接한 크랙에 合體되는 것을 나타낸다.

Fig. 9는 應力레벨이 196MPa인 3.5% 食鹽水溶液中에서 $N = 3 \times 10^5$ 일 때의 複合組織鋼의 크랙進展過程의 일부를 나타낸 것이다. 前報에 의한 空氣中の 경우¹²⁾, 크랙進展은 마르텐사이트를 貫通, 巡回 또는 分岐하면서 지그자그형태로 傳播되며, 페라이트부분에서 슬립밴드(slip band)가 發生 및 集積되어 슬립밴드를 따라 비교적 직진한다고 하였다. 그러나 3.5%食鹽水 溶液中の 경우 마르텐사이트 부분에서 Fig. 9의 "A", "B"와 같은 많은 腐蝕피트가 發生하고 각각에 微小크랙이 發生하여 마르텐사이트 領域에 따라 進展되며, "C", "D"부분 등에서 連結되고 있다. 일반적으로 腐蝕피트 發生과 微小크랙 進展 및 連結은 大部分 마르텐사이트 領域에서 發生되고 있으며 페라이트 領域에서는 슬립밴드조차 確認되지 않았다. 食鹽水 溶液中에서는 複合組織鋼의 마르텐사이트부분에서 우선적으로 腐蝕피트가 發生하고 微小크랙의



(a)



(b)

Fig. 8 Corrosion surface specimens of M.E.F. dual phase steel in 3.5% NaCl aqueous solution ($\sigma = 196MPa$, $N = 5.8 \times 10^5$)

發生原因이 되었고 페라이트부분은 마르텐사이트에 둘러싸여 塑性拘束을 받은 狀態로 疲勞荷重에 의한 슬립밴드가 發生하지 않았으므로 크랙이 주로 마르텐사이트 領域만을 經由하여 進展되는 것으로 생각된다.

3.2 破斷面 觀察에 의한 腐蝕피트 形狀特性

Fig. 10의 (a), (b) 및 (c)는 應力레벨 196MPa, 0.01%, 1%, 3.5% 食鹽水 溶液中에서 實驗한 複合組織鋼의 腐蝕피트形狀을 破斷面에서 觀察한 것이다.

腐蝕피트의 깊이와 形狀을 觀察한 結果, Fig. 10(a)에서는 약 25 μm , Fig. 10(b)에서는 약 40 μm 의 半球狀腐蝕피트를 볼 수 있다. Fig. 10(c)에서는 ABDE부분의 깊이는 약 35 μm 이지만, C부분에서는 약 50 μm 의 깊이를 보이며 ABDE의 底部에 BCD의 피트가 複合的으로 形成되어진 것으로 생각된다.

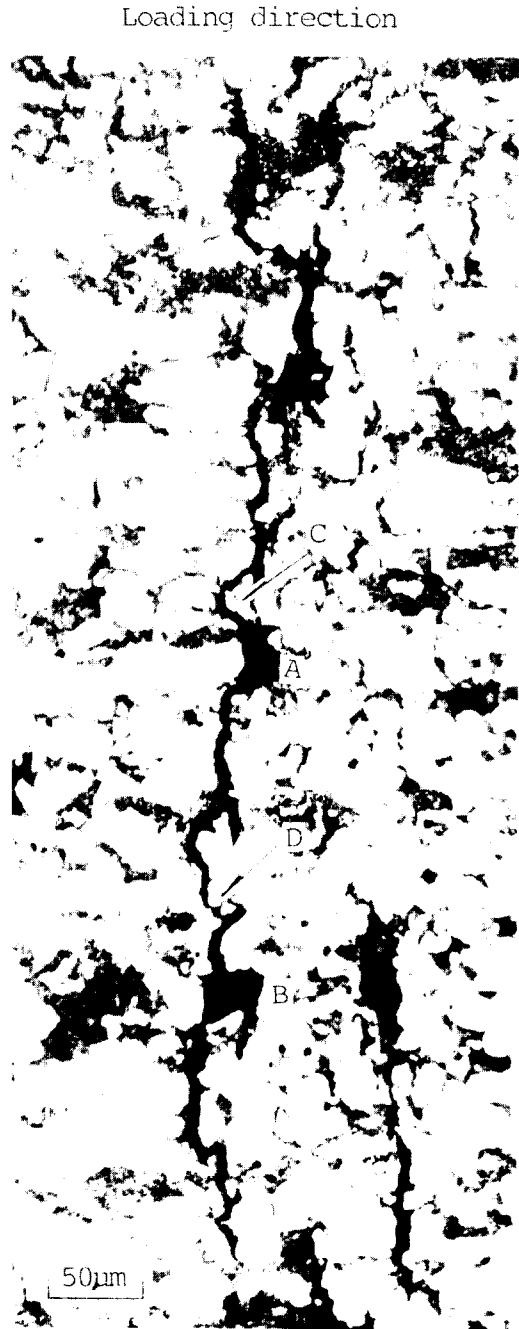
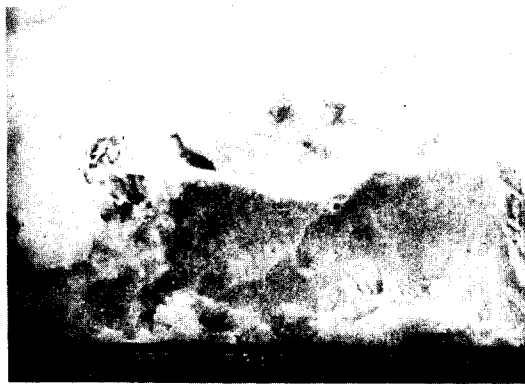
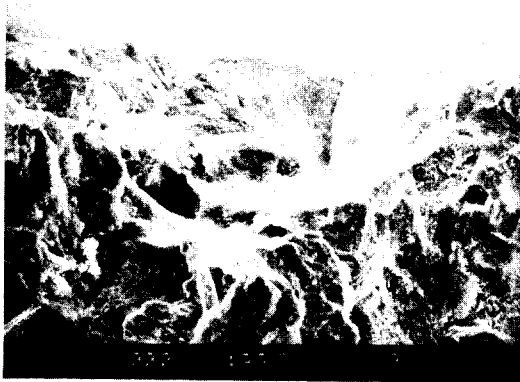


Fig. 9 Crack propagation of M.E.F. dual phase steel in 3.5% NaCl aqueous solution ($\sigma = 196MPa$)

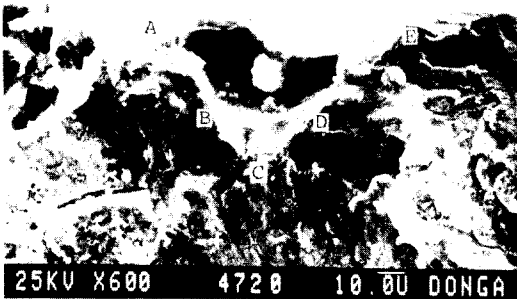
破斷面에서 觀察한 複合組織鋼의 腐蝕피트形狀을 模式的으로 표시하면 Fig. 11의 (a), (b)와 같고 (a)는 半球狀피트, (b)는 複合피트이다. 腐蝕



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Corrosion fatigue fracture surface ($\sigma = 196$ MPa)

- (a) 0.01% NaCl aqueous solution
- (b) 1% NaCl aqueous solution
- (c) 3.5% NaCl aqueous solution

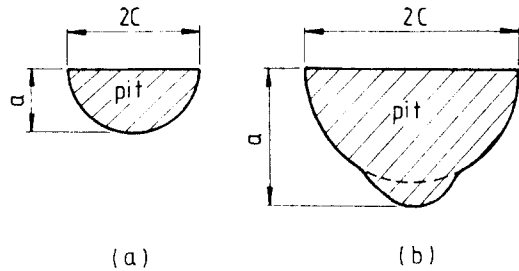


Fig. 11 Corrosion pit aspect of M.E.F. dual phase steel

피트 깊이를 a , 지름을 $2c$ 로 하고 試驗片 破斷面 圓周線上에서 觀察되는 모든 腐蝕피트의 a 및 $2c$ 를 SEM을 使用하여 測定한 結果로 부터 腐蝕피트 形狀比, a/c 와 腐蝕피트지름, $2c$ 의 關係를 Fig. 12에 나타내었다. a/c 가 1.0~1.5사이에 홀어져 있으며 食鹽水濃度の 依存性이 明確하지 않으나, 腐蝕피트가 安定한 成長을 하는 것으로 생각된다. a/c 의 平均값은 약 1.25이며 腐蝕피트는 거의 半球狀으로 成長되어 진다. 增田¹³⁾등에 의하면 3% 食鹽水中에 있어서 SUS 403鋼의 腐蝕疲勞 壽命豫測에 있어서 a/c 는 0.96을 나타내었다. 이것은 스테인레스鋼의 耐蝕性으로 本 實驗보다 작은 값을 나타낸 것으로 생각된다. 특히 $2c$ 가 增加할 수록 a/c 가 1.5로 부터 1.0으로 減少하는 傾向이 있고 a 의 길이 增加는 $2c$ 의 增加에 比하여 限界性을 나타내고 있다.

Fig. 13은 複合組織鋼의 腐蝕피트成長舉動을 알기 위하여 應力레벨 및 食鹽水濃度を 變化시켜 최종破斷面의 圓周線上에 있는 腐蝕피트의 깊이를 測定하여 食鹽水濃度 變化에 따른 단위 회전수당 피트깊이 成長速度, a/N_f 를 나타낸 것이다.

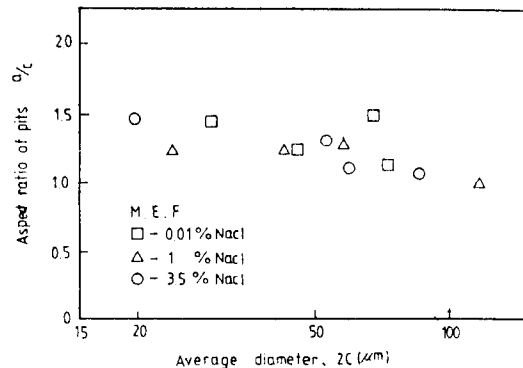


Fig. 12 Relation between aspect ratio and average diameter of corrosion pit

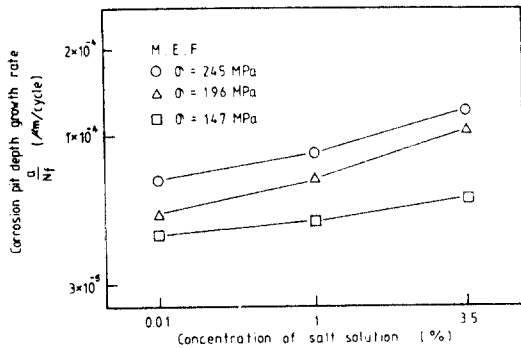


Fig. 13 Corrosion pit depth growth rate vs. concentration of salt solution of M. E. F. dual phase steel

食鹽水濃도가 增加함에 따라 應力레벨 $\sigma = 147$ MPa에서 a/N_f 가 完만하게 增加하며, 應力레벨이 增加할 수록 a/N_f 의 變化的 차이가 食鹽水濃도가 增加함에 따라 增加하는 傾向이 있다.

4. 結 論

SS41鋼을 熱處理하여 얻은 複合組織鋼을 食鹽水濃度 變化에 따라 회전굽힘疲勞試驗을 하고, 破斷面의 SEM觀察을 통하여 腐蝕피트發生 및 成長의 特性에 대하여 考察한 結果는 다음과 같다.

1) 食鹽水濃度 變化(0.01, 1, 3.5%)에 의한 複合組織鋼의 疲勞強度는 空氣中에 比하여 低下하고, 濃度增加에 따라 더욱 현저히 低下한다. 疲勞壽命 10^6 을 基準으로 한 母材의 疲勞強度는 約 71~40%, 複合組織鋼은 約80~63% 범위를 나타내어 複合組織鋼이 母材보다 腐蝕疲勞強度가 높다.

2) 腐蝕피트가 마르텐사이트부분에서 發生되며 담금질까지 熱處理하여 얻은 複合組織鋼이 담금질 및 뜨임까지 熱處理하여 얻은 複合組織鋼보다 腐蝕피트의 數가 적게 나타났으므로 뜨임처리가 複合組織鋼의 腐蝕強度에 惡影響을 주었다.

3) 食鹽水溶液中에서는 複合組織鋼의 마르텐사이트부분에서 우선적으로 腐蝕피트가 發生하고, 微小크랙의 發生原因이 되었고, 페라이트부분은 마르텐사이트에 둘러싸여 塑性拘束을 받은 狀態로 疲勞荷重에 의한 슬립밴드가 發生하지 않았으므로 크랙이 主로 마르텐사이트 領域만을 經由하여 進展되는 것으로 생각된다.

4) 腐蝕피트 形狀比, a/c 와 腐蝕피트지름, $2c$

사이의 關係에서 a/c 의 平均값은 約1.25이며, 腐蝕피트는 거의 半球狀으로 成長되어진다. 특히 $2c$ 가 增加할 수록 a/c 가 1.5로부터 1.0으로 減少하는 傾向이 있고 길이 a 의 增加는 지름 $2c$ 의 增加에 比하여 限界性を 나타내고 있다.

5) 食鹽水濃도가 增加함에 따라 應力레벨 $\sigma = 147$ MPa에서 단위 회전수당 腐蝕 피트깊이 成長速度 a/N_f 가 完만하게 增加하며, 應力레벨이 增加할 수록 a/N_f 의 變化的 차이는 食鹽水濃도가 增加함에 따라 增加하는 傾向이 있다.

참고문헌

- 1) 岡田庸敬, 服部修次, 武田昌彦, "HCl+NaCl, NaCl+NaCl溶液中でのpHとねじり腐蝕疲勞強度の關係", 材料, 第34卷, 第382號, pp. 830~835, 1985
- 2) 岡田庸敬, 服部修次, "S35C炭素鋼 腐蝕疲勞強度に及ぼす食鹽水濃度の影響", 日本機械學會論文集(A編), 第49卷, 第442號, pp. 685~692, 1983
- 3) 増田千利, 西島 敏, 阿部孝行, 住吉英志, "S45C, SCM35鋼の回轉曲げ 腐蝕疲勞破壊機構", 日本機械學會論文集(A編), 第50卷, 第453號, pp. 1019~1025, 1984
- 4) Saito, T., "Kinetics of Corrosion Fatigue Crack Growth in High Strength Low-alloy Steels in 3.5% NaCl Aqueous Solution," Transactions ISIJ, Vol. 24, pp. 1055~1062, 1984
- 5) 日本材料學會, "材料學の最近の進歩," 日本材料學會創立 30周年記念, pp. 13~17, 1982.
- 6) 金植圭, 黃敦永, "微視組織에 敏感한 균열당 힘현상", 大韓機械學會論文集, 第10卷, 第6號, pp. 898~905, 1986
- 7) 吳世旭, 姜鎬珉, 李悅宰, "人工海水에 의한 複合組織鋼의 表面腐蝕이 疲勞破壞強度에 미치는 影響", 東亞大學校大學院論文集(第4輯), pp. 489~499, 1986
- 8) 吳世旭, 姜鎬珉, "複合組織鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 3.5%NaCl水溶液의 pH와 母相粒徑의 效果", 大韓機械學會論文集, 第11卷, 第6號, pp. 867~876, 1987
- 9) 吳世旭, 姜鎬珉, 都映暎, "3.5% NaCl水溶液

- 의 pH가 複合組織鋼의 腐蝕疲勞破壞에 미치는 影響”, 韓國海洋工學會誌, 第1卷, 第2號, pp. 299~305, 1987
- 10) 西島 敏, 阿部孝行, 增田千利, 蛭川 壽, “食鹽水環境における低合金鋼の回轉曲げ 腐蝕疲勞特性と繰返し速度効果”, 日本機械學會論文集(A編), 第51卷, 第461號, pp. 156~160, 1985
- 11) 服部修次, 岡田庸敬, “腐蝕の局所性に注目した構造用鋼の腐蝕疲勞き裂の發生および進展”, 材料, 第37卷, 第415號, pp. 410~415, 1988
- 12) 吳世旭, 金雄執, “複合組織鋼의 회전굽힘疲勞 크랙發生 및 傳播에 미치는 母相粒徑의 影響”, 東亞大學校, 工科大学 附設韓國資源開發研究所, 研究報告, 第8卷, 第1號, pp. 75~84, 1984
- 13) 增田千利, 蛭川 壽, 西島 敏, 阿部孝行, “3% 食鹽水中におけるSUS 403鋼の腐蝕疲勞壽命豫測”, 日本機械學會論文集(A編), 第52卷, 第480號, pp. 1764~1769, 1986



● 會員加入案内 ●

本學會 入會를 원하시는 분은 學會所定樣式의 入會願과 우편대체 납입료를 이용해서서 所定の 年會費를 學會 事務局으로 送付하시면 理事會의 議決을 거쳐 定式入會를 通告해 드립니다.
詳細한 것은 電話로 問議하여 주십시오.

韓國海洋工學會

釜山市 沙下區 下端洞 840 東亞大學校 工科大学 內
電話 : (051) 205-2325