

自動車 프레임용 鋼材의 腐蝕疲勞에 의한 破面成長舉動에 관한 研究

李相烈 · 林鐘汶 · 林祐助* · 李鐘樂*

*浦項專門大學 自動車科, **釜山水產大學校 機械工學科

(1992年 2月 20日 接受)

A Study on the Fracture Surface Growth Behavior of Steel used for Frame of Vehicles by Corrosion Fatigue

Sang-yoel LEE, Jong-Moon LIM, Uh-Joh LIM* and Jong-Rark LEE*

Dept. of Automobile, Pohang college

*Dept. of Mechanical Eng., National Fisheries University of Pusan

(Received February 20, 1992)

In this study, corrosion fatigue test of SAPH45 steel was performed by the use of plane bending fatigue tester in marine environment and investigated fracture surface growth behavior of base metal and heat affected zone corrosion fatigue.

The main results obtained are as follows:

- 1) Fracture surface growth of heat affected zone (HAZ) is delayed more than that of base metal (BM), and they tend to faster in seawater than in air.
- 2) Corrosion sensitivity to corrosion fatigue life of HAZ is more susceptible than that of BM.
- 3) In the case of the corner crack by corrosion fatigue, the correlation between the propagation rate of fracture surface area (dA/dN) and stress intensity factor range (ΔK) for SAPH45 are applied to Paris rule as follows:

$$dA/dN = C (\Delta K)^m$$

where m is the slope of the correlation, and is about 6.60-6.95 in air and about 6.33-6.41 in seawater respectively.

1. 序 論

最近 産業의 發展에 따라 각종 自動車, 船舶 및 航空機 等の 運搬手段은 高速化되고 있는 趨勢에 따라 여러가지 형태의 振動, 荷重 및 外力

에 의한 反復的인 應力을 많이 받는다.

특히 除雪濟를 사용한 道路나 海岸都市 및 海岸道路에서 運行되고 있는 각종 自動車 들은 鹽化物에 의해 腐蝕作用이 일어날 수 있다.

이와 같이 鹽化物의 腐蝕霧圍氣 및 反復的인

荷重周波數로 인한 腐蝕疲勞現象이 金屬構造物인 自動車 部材의 損傷 및 破壞에 重要한 因子가 되고 있다^{2)~5)}.

腐蝕雰圍氣中에서 平面 굽힘 反復荷重에 의한 金屬構造物의 表面龜裂은 降伏點보다 더욱 낮은 사용 反復荷重下에서도 機械構造物의 內部 缺陷, 部材의 形狀 不連續部, 리벳팅部の 加工缺陷 및 腐蝕피트(pit) 등의 應力集中部를 起點으로 發生하여 臨界龜裂길이(critical crack length)에 이르게 되면 순식간에 金屬構造物 전체의 破斷을 초래하게 된다.

특히 船舶, 自動車, 航空機, 橋梁 및 海洋構造物 등의 腐蝕疲勞破壞에 있어서 더욱 중요하다고 생각되는 平面굽힘 反復荷重에 의한 龜裂成長舉動에 관한 研究는 몇 편의 研究結果에도 불구하고, 鹽化物雰圍氣中에서 構造用鋼의 腐蝕疲勞에 의한 모서리龜裂의 破面成長舉動에 대해서는 충분히 밝혀져 있지 않다^{6)~14)}.

한편, 自動車 프레임에는 自動車 構造用 熱間壓延鋼板인 SAPH45가 주로 사용되고 있다.

따라서 本 研究는 車輛의 프레임용으로 사용되는 自動車 構造用 熱間壓延鋼板인 SAPH45의 熔接部位를 海洋雰圍氣中에서 腐蝕疲勞에 의한 破面成長舉動에 관한 研究를 하기 위하여, 海水中에서 SAPH45의 熔接部位를 平面굽힘 疲勞 및 腐蝕疲勞試驗을 행하여 龜裂成長舉動을 觀察 · 調査하였다.

이 實驗의 結果로 부터 모서리龜裂의 表面龜裂

과 龜裂깊이에 따른 破面成長舉動에 대해 고찰하고, 熔接部位의 腐蝕感受性を 求한 후 熔接部位의 腐蝕疲勞에 미치는 영향을 機械的 및 電氣化學的인 측면에서 究明함으로써 鹽化物이 존재하는 道路나 海洋雰圍氣下에서 운행되는 차량 프레임용 SAPH45鋼材의 腐蝕疲勞破壞에 대한 基礎設計資料로서 寄與하고자 한다.

2. 試驗片과 實驗方法

2.1 試驗片

本 實驗에 使用된 試驗材料는 自動車 構造用 熱間壓延鋼板(SAPH45)으로 그 化學的成分과 機械的性質은 Table 1과 같다.

이와 같은 板材를 母材로 하여 熔接奉 H14(ϕ 4.8mm)을 이용하여 Submerged熔接을 하였으며, 熔接 入熱量은 28KJ/cm이다. 그리고 熔接奉의 化學的 性質은 Table 1에 표시되어 있다.

上述한 板으로부터 그 길이方向이 壓延方向과 同一하도록 취하여 製作한 試驗片 및 노치의 形狀은 Fig. 1과 같으며, 여기서 母材 및 熔接熱影響部에 各各 노치의 位置가 오도록 하여 別個의 試驗片으로 製作하였다.

그리고 試驗片 形狀의 노치先端에 있어서 應力擴大係數範圍 ΔK 값은 Kawahara 등이 提示한 다음 式으로 計算하였다¹⁵⁾.

$$\Delta K = \frac{1}{2} \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (1)$$

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used material.

(a) Chemical composition (wt %)

| Material | C | Si | Mn | P | S |
|--------------|-------|-------|------|-------|-------|
| SAPH 45 | 0.146 | 0.07 | 1.08 | 0.016 | 0.009 |
| Welding Wire | 0.120 | 0.039 | 2.57 | 0.026 | 0.013 |

(b) Mechanical properties

| Material | Tensile strength (kgf/mm ²) | Yield strength (kgf/mm ²) | Elongation (%) |
|----------|--|--|-------------------|
| SAPH 45 | 54.6 | 38.4 | 23 |

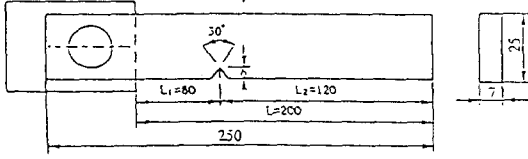


Fig. 1. Dimension of test specimen (mm).

여기서

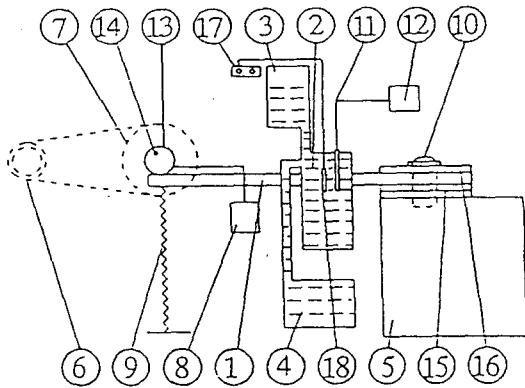
$\Delta\sigma$: 굽힘應力振幅 (kgf/mm^2)

a : 表面龜裂길이 (mm)

한편 試驗片 表面은 사포 600~2000번까지 研磨한 後 아세톤으로 脫脂하고, 試驗片 表面의 電氣化學的인 影響을 除去하기 위해 노치先端을 除外한 試驗片 全表面을 透明한 실리콘수지로 被服, 絶緣시켰다.

2.2 實驗裝置

本 實驗에 使用한 偏心輪式 定變位 平面굽힘 腐蝕疲勞試驗機의 全體系統圖는 Fig. 2와 같다.



- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Specimen | 10. Adjusting nut |
| 2. Corrosion cell | 11. Electrode |
| 3. Feed water tank | 12. Conductivity meter |
| 4. Drain water tank | 13. Eccentric cam |
| 5. Bed | 14. Shaft |
| 6. Motor | 15. Liner |
| 7. Pulley | 16. Cover plate |
| 8. Counter meter | 17. Potentiometer |
| 9. Spring | 18. Reference electrode |

Fig. 2. Schematic diagram of test apparatus.

Fig. 2의 腐蝕疲勞試驗機에 板狀試驗片의 一端은 豎게로 덮어 볼트로 고정하고 自由端은 偏心輪의 回轉에 의하여 平面 굽힘 反復應力을 받게 하였으며, 이 偏心輪의 外주에는 볼베어링을 끼워서 試驗片과 摩擦을 피할 수 있도록 하였다.

또한 平面굽힘 應力은 모-터에 의해 驅動되는 偏心輪에 의해 받으며, 應力反復回數는 풀리軸에 連結되어 있는 積算回轉針로 測定하였으며, Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 偏心輪의 偏心量, 固定端과 荷重點과의 길이(L) 및 固定端과 노치와의 길이(L_1)를 變化시킴으로써 應力을 微細하게 調節할 수 있도록 하였으며 이때 反復荷重의 速度는 모두 600rpm($f=10\text{ Hz}$)로 維持하였고, 應力比 $R=0$ 으로 一定하게 하였다.

2.3 實驗方法

腐蝕環境水槽는 플라스틱으로 製作하였으며, 腐蝕溶液으로는 比抵抗값이 $25\ \Omega\cdot cm$ 인 天然海水를 사용하고, 實驗中の 水溫은 室內溫度로 維持하였다. 實驗中の 腐蝕溶液은 Cl이온의 濃度 및 傳導度의 變化를 방지하기 위하여 4l/h의 量으로 계속하여 순환시키고, 腐蝕生成物에 의한 電氣化學的인 影響을 除去하기 위하여 순환회로 配管에 絶緣性 필터를 사용하였다.

龜裂成長길이(crack growth length)는 一定하게 反復荷重을 부가한 後 20배의 移動式 顯微鏡으로 疲勞 및 腐蝕疲勞 龜裂初期段階($a_i=0.5\text{ mm}$ 를 龜裂初期段階로 假定하고, 이하 龜裂初期段階라 함)로 부터 破斷까지 연속적으로 測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 모서리龜裂의 破面成長舉動

Photo. 1은 일정하게 反復荷重을 附加하였을 때, 海水中에서 두께 $t=7\text{ mm}$ 인 平滑平板材의 片側貫通 노치로부터 平面굽힘 反復荷重에 의해 腐蝕疲勞龜裂發生으로 부터 破壞까지의 破面에 대한 熔接熱影響部의 비치마크를 보인 것이다.

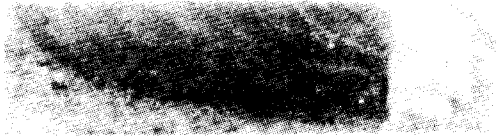


Photo. 1. Beach marks of fracture surface(x3).

이에 의하면 鋼板材의 平面굽힘 反復荷重에 의한 腐蝕疲勞龜裂成長舉動은 片側貫通노치로 부터 龜裂이 成長된 Fig. 3과 같은 四分橢圓形의 모서리 龜裂進展特性을 보이고 있다. 모서리 龜裂初期段階에는 板材의 表面에 나타난 비치마크 간격의 크기는 두께방향에 나타난 비치마크 간격의 크기에 비해 더 작게 成長되지만, 龜裂이 점차 成長함에 따라 表面에 나타난 비치마크 간격의 크기가 龜裂깊이에 나타난 비치마크 간격의 크기에 비해 현저하게 커지고 있는 傾向이다.

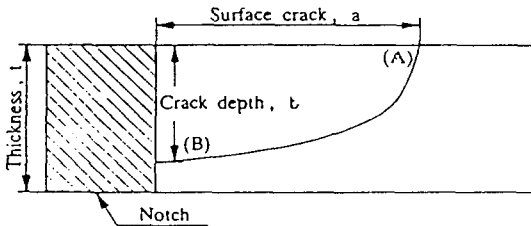


Fig. 3. Corner crack growth of quarter elliptical.

이들 비치마크 간격의 크기에 의하면 각각의 環境條件 變化 그리고 母材부와 熔接熱影響部에 따라 表面龜裂깊이와 龜裂깊이의 龜裂成長에 따라 破壞面의 成長舉動이 貫通龜裂의 破壞面의 成長舉動과 각각 다르게 나타날 것으로 생각된다.

3.2 모서리 龜裂成長의 樣相

Fig. 4는 空氣中과 海水中에서 應力反復回數 N 에 대하여 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 母材와 熔接熱影響部の 表面龜裂成長舉動을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 空氣中과 天然海水中에서 母材의 熔接熱影響部の 表面龜裂成長舉動은 초기에는 완만한 成長을 보이다가 表面龜裂깊이가 약 12~14mm에서 급격히 빨라지는 경

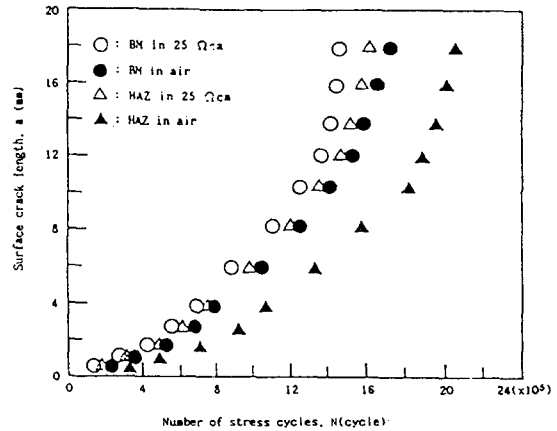


Fig. 4. Surface crack length vs number of stress cycles in air and $\rho = 25\Omega \cdot cm$.

향을 보이고 있다. 그리고 天然海水中에서 母材의 表面龜裂깊이 a 의 成長이 가장 빠르며, 空氣中에서 熔接熱影響部の 表面 龜裂깊이의 成長이 가장 遲延되었다.

Fig. 5는 空氣中과 海水中에서 應力反復回數 N 에 대하여 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 母材와 熔接熱影響部の 龜裂깊이 b 의 成長舉動을 나타낸 것이다.

空氣中과 天然海水中에서 母材와 熔接熱影響部の 龜裂깊이의 龜裂成長舉動은 表面龜裂成長舉動과는 달리 거의 일정한 龜裂成長舉動을 보이고 있다. 그리고 天然海水中에서 母材의 龜裂깊이의 成長이 가장 빠르며, 空氣中에서 熔接熱影響部の 龜裂깊이 成長이 가장 遲延되는 양상은 表面 龜裂깊이의 成長과 유사하다.

Fig. 6은 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 모서리 龜裂 成長에 있어서 母材와 熔接熱影響部の 一定한 表面龜裂깊이 a 에 대한 龜裂깊이 b 의 成長舉動을 나타낸 것이다.

이에 의하면 母材나 熔接熱影響部の 어느 것이나 일정한 表面龜裂깊이 a 의 成長에 대한 龜裂깊이 b 의 成長은 比抵抗 $\rho = 25\Omega \cdot cm$ 인 天然海水中에서 보다 空氣中에서 더 깊게 成長되었다. 그리고 空氣中에서 熔接熱影響部の 龜裂깊이가 가장 깊게 成長되었으며, 海水中에서 母材와 熔接熱影

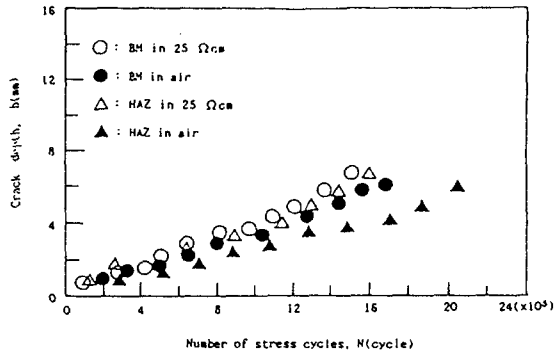


Fig. 5. Crack depth vs number of stress cycles in air and $\rho = 25\Omega cm$.

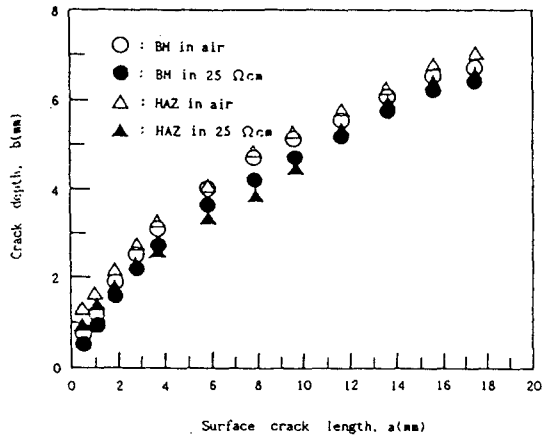


Fig. 6. Relation between surface crack length and crack depth in air and $\rho = 25\Omega cm$.

響部の 表面龜裂길이의 成長에 대한 龜裂깊이의 成長이 교차되면서 空氣中에서 보다 遲延되는 양상을 보이고 있다.

3.3 모서리龜裂의 破面面積成長舉動

Fig. 4~6에서 보인 바와 같이 腐蝕疲勞에 의한 모서리 龜裂의 경우, 應力反復回數에 대한 表面龜裂길이와 龜裂깊이의 龜裂이 進展되는 形狀이 環境條件의 變化와 熔接部位에 따라서 서로 다른 樣相을 나타내고 있다.

本 研究에서와 같은 腐蝕環境中에서 모서리 龜裂의 非貫通龜裂과 貫通龜裂의 表面龜裂成長에 따른 破面成長을 比較하면 Fig. 7의 (A), (B)와

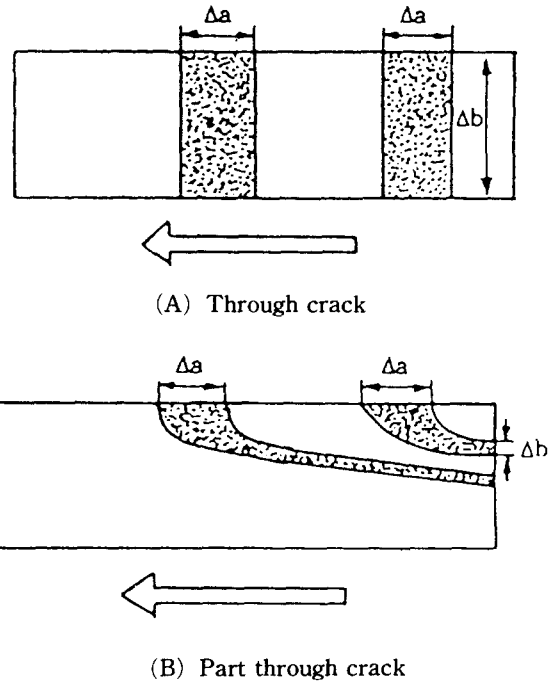


Fig. 7. Comparison of fracture surface growth of through and part through crack by corrosion fatigue.

같이, 下部의 화살표는 龜裂成長方向을 나타낸 것이다.

여기서 初期에 表面龜裂成長길이 Δa 만큼 進展하였을 때와 일정한 길이로 進展한 後 같은 表面龜裂成長길이 Δa 만큼 進展하였을 때의 증가된 破壞面의 面積을 比較해 보면, (A)의 貫通龜裂인 경우에는 龜裂깊이 Δb 의 進展길이가 서로 같기 때문에 破面面積이 一定하게 증가하나 (B)의 四分橢圓形 모서리 龜裂의 경우에는 龜裂깊이 Δb 의 成長이 각각 달라지므로 破面面積은 일정치 않고, 또 Fig. 6에서 보인 바와 같이 環境條件이 變化함에 따라서 모서리 龜裂의 表面龜裂 成長길이가 Δa 만큼 進展하였을 때의 두께방향의 龜裂깊이成長은 環境條件과 熔接部位에 따라 달라지므로써 증가된 破壞面의 面積은 腐蝕의 影響 因子로 인해 더욱 일정치 않음을 알 수 있다.

따라서 腐蝕疲勞破壞의 斷面減少率의 견지에서

생각하면, 非貫通龜裂인 모서리 龜裂의 疲勞龜裂 成長舉動을 考察함에 있어서는 應力反復回數 N 에 대한 成長되어진 破面面積 A 의 關係를 究明함이 타당할 것으로 史料된다. 특히 腐蝕環境下에서 모서리 龜裂의 成長舉動을 考察함에 있어서 破面面積 A 의 成長舉動을 究明함이 더욱 필요하다고 생각된다.

Fig. 8은 空氣中과 海水中에서 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 母材와 熔接熱影響部의 破面面積 A 에 대한 應力反復回數 N 와의 關係를 計算하여 定理해 보인 것이다. 여기서 모서리 龜裂의 破面形狀은 Fig. 3과 같이 四分橢圓形이므로, 表面龜裂길이 a 와 龜裂깊이 b 와의 關係를 이용하여 腐蝕疲勞 破壞面의 面積 A 를 다음과 같이 求하였다.

$$A = \frac{1}{4}(\pi ab) \quad (2)$$

여기서

- a : 表面龜裂길이
- b : 龜裂깊이

이 結果에 의하면 龜裂成長初期에는 環境條件의 變化에 關係없이 거의 일정한 破壞面積의 成長을 나타내지만 應力反復回數가 增加함에 따라서 破壞面積의 成長은 급격히 빨라지는 경향을

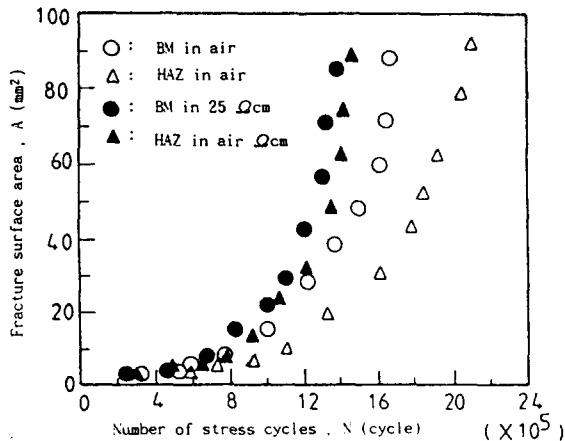


Fig. 8. Relation between fracture surface area and number of stress cycles in air and $\rho=25\Omega cm$.

보이고 있으며, 특히 母材보다 熔接熱影響部の 破壞面積成長이 더 遲延되고, 空氣中에서 보다 海水中에서의 破壞面積成長이 더 빨라지는 樣相이다.

3.4 모서리 龜裂의 破面面積成長 速度特性

疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 모서리 龜裂成長에 따른 母材와 熔接熱影響部の 破面面積成長速度 dA/dN 를 구하기 위하여, Fig. 8의 $A-N$ 曲線에서 각점의 기울기로 부터 破面面積成長速度 dA/dN 을 구하였다.

Fig. 9는 空氣中과 腐蝕環境의 比抵抗 $25\Omega cm$ 中에서 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 母材 및 熔接熱影響部の 破面面積成長速度 dA/dN 에 대한 應力擴大係數範圍 ΔK 값과의 關係를 정리하여 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와같이 海水中에서의 破面面積成長速度 dA/dN 는 空氣中에서 보다 더

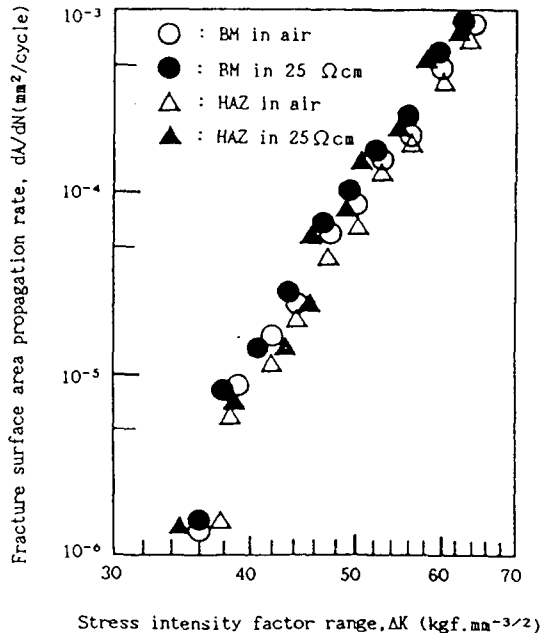


Fig. 9. Relation between fracture surface area propagation rate and stress intensity factor range.

빨라지고, 특히 應力擴大係數範圍 ΔK 값이 낮은 領域下에서는 더욱 빨라지고 있다. 그리고 龜裂初期段階의 應力擴大係數範圍 ΔK 값에 있어서 擬下限界 應力擴大係數範圍(Quasi - threshold stress intensity factor range) ΔK_{th} 와 같은 樣相은 本 實驗의 試驗片에 疲勞노치로부터 反復荷重을 附加하여 實驗한 것이 아니고, V노치를 加工하여 實驗함으로써 노치先端에 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 龜裂이 發生하기 까지의 潛伏期間때문이라 思料된다.

또한 각각의 環境條件下에서 龜裂初期段階를 제외한 破面面積成長速度 dA/dN 는 應力擴大係數範圍 ΔK 값이 커짐에 따라서 직선적으로 빨라지고 있는 傾向을 나타내고 있으므로써 dA/dN 와 ΔK 와의 相關關係를 考察하기 위해 Paris' rule을 應用하여 다음과 같은 式을 적용하고자 한다^{16,17)}.

$$dA/dN = C (\Delta K)^m \quad (3)$$

Table 2는 Fig. 9의 實驗値를 式(3)과 같이 應用된 Paris rule에 의해 電算化한 實驗常數 C 와 m 값을 정리하여 보인 것이다. 여기서 a)는 母材, b)는 熔接熱影響部의 實驗상수이다.

Table 2. The experimental constants C and m of Paris' rule for the propagation rate of fracture surface area [$dA/dN = C (\Delta K)^m$]

| a) Base metal | | |
|-----------------------------|------------------------|------|
| Experimental constant | C | m |
| Environment ($\Omega.cm$) | | |
| 25 | 6.20×10^{-16} | 6.33 |
| in air | 2.26×10^{-16} | 6.60 |
| b) Heat affected zone | | |
| Experimental constant | C | m |
| Environment ($\Omega.cm$) | | |
| 25 | 4.56×10^{-16} | 6.41 |
| in air | 4.44×10^{-17} | 6.95 |

이 結果에 의하면 空氣中에서 보다 腐蝕性 霧圍氣인 海水中에서 實驗常數 C 값은 커지고 있는데 비해 實驗常數(指數) m 값은 작아지고 있는 樣相을 나타내고 있다. 또한 이러한 양상은 母材보다 熔接熱影響部에서 더 현저한 차가 나타남을 알 수 있다.

3.5 腐蝕感受性

Table 2에서 空氣中에서 보다 海水中에서의 實驗常數 C 값은 커지고 있는데 비해 實驗常數(指數) m 값은 작아지고 있는 樣相이 母材보다 熔接熱影響部에서 더 현저한 차가 나타나는 이유는 母材보다 熔接熱影響部에서 腐蝕에 더 민감한 것으로 생각됨으로써 이를 좀더 구체적으로 고찰하기 위하여, Fig. 10에 空氣中에서 疲勞壽命까지 應力反復回數 N_{air} 에 대한 海水中에서 腐蝕疲勞壽命까지 應力反復回數 N_{cor} 의 比를 計算에 의하여 比較함으로써, 母材와 熔接熱影響部の 腐蝕感受性 S 을 評價하여 보인 것이다. 여기서 腐蝕感受性 S 는 다음式으로 計算하였다.

$$S = N_{air}/N_{cor} \quad (4)$$

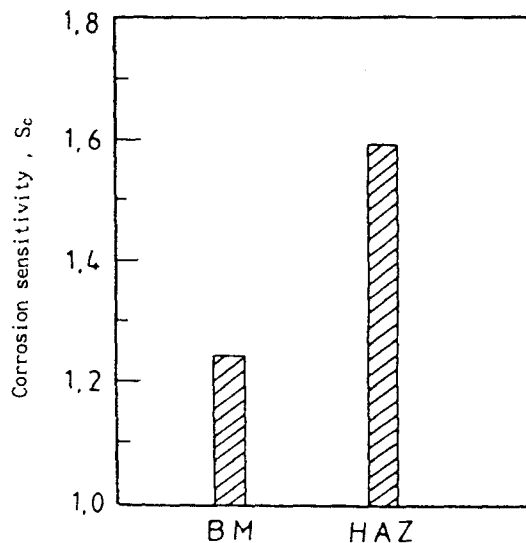


Fig. 10. Corrosion sensitivity of base metal (BM) and heat affected zone (HAZ) in seawater.

(但, 空氣中에서의 疲勞壽命까지 應力反復回數 N_{air} 은 腐蝕의 影響이 없는 것으로 간주함)

이 結果에 의하면, 腐蝕疲勞壽命까지 母材의 腐蝕感受性은 약 1.25이고, 熔接熱影響部の 腐蝕感受性은 약 1.59으로 母材보다 熔接熱影響部の 腐蝕感受性 S가 더 敏感해지는 樣相을 보이고 있다.

3.6 熔接部の 組織的 및 電氣化學的 特性

지금까지 SAPH45의 母材와 熔接熱影響部の 腐蝕疲勞破壞에 관한 考察에 의하면, Fig. 8에서 母材의 疲勞 및 腐蝕疲勞에 의한 疲勞壽命보다 熔接熱影響部の 疲勞壽命이 더 遲延되었으나 Fig. 10에 의하면 母材보다 熔接熱影響部の 腐蝕感受性이 더 敏感한 樣상으로 나타났다.

이와 같은 양상의 原因을 분석하기 위해 母材와 熔接熱影響部の 機械的 特性 및 電氣化學的 特性을 조사하여 그 結果를 Fig. 11 및 Fig. 12에 보인다.

Fig. 11은 母材 및 熔接熱影響部の 硬度를 나타낸 것이다.

이 結果에 의하면 熔接熱影響部の 硬度는 母材의 硬度에 비해서 전반적으로 약간 높게 나타났

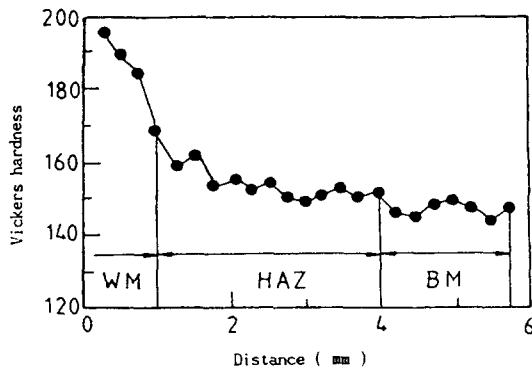


Fig. 11. SAPH45 Vickers hardness on the welded zone.

다. 이러한 結果에서 熔接熱影響部보다 母材가 약간 軟化됨으로서 母材의 龜裂先端에 塑性變形으로 인한 機械的인 龜裂閉口現象 때문에 本實驗과 반대 傾向인 용접열영향부의 疲勞壽命이 母材의 疲勞壽命보다 더 빨라질 것으로 推定되나, 母材와 熔接熱사이클에 의한 熔接熱影響部 組織의 불연속성 그리고 缺陷 등의 影響으로 龜裂成長經路가 복잡하기 때문에 母材의 破面面積成長보다 熔接熱影響部の 破面面積成長이 더 遲延되는 原因으로 思料된다.

Fig. 12는 母材部와 熔接熱影響部の 試驗片을 比抵抗 $\rho = 25\Omega \cdot cm$ 중에서 飽和카로멜電極으로 측정한 電極電位를 나타낸 것이다.

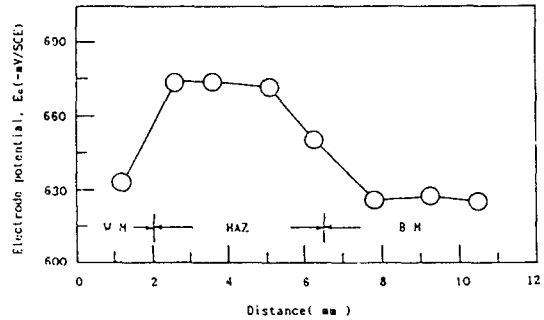


Fig. 12. Electrode potential on the weld zone ($\rho = 25\Omega \cdot cm$)

이 結果에 의하면 母材의 電極電位 (potential of electrode) E_c 보다 熔接熱影響部の E_c 가 더 卑電位化 (less noble potential)되는 樣相이며, 모재보다 熔接熱影響部の E_c 가 卑電位化로 되는 이유는 熔接熱사이클에 의한 組織의 不連續, 缺陷 및 殘留應力에 의한 原因으로 思料되고, 熔着金屬部는 원래 卑電位인 金屬으로 보인다. 이와 같이 母材의 電極電位 E_c 보다 熔接熱影響部の E_c 가 더 卑電位化됨으로써 腐蝕疲勞에 의한 熔接熱影響部の 龜裂先端은 母材의 龜裂先端보다 더 陽極活性化에 의한 腐蝕이 촉진됨으로서 熔接熱影響部가 母材보다 腐蝕에 더 敏感하게 나타나는 것으로 생각된다.

4. 結 論

本 研究에서는 車輛 프레임용 SAPH45의 熔接 部位를 대상으로 海水中에서 平面굽힘 腐蝕疲勞 試驗을 행하여, 腐蝕疲勞破壞特性에 관한 研究를 한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 母材보다 熔接熱影響部の 破壞面積成長이 더 遲延되고, 空氣中에서 보다 海水中에서의 破壞面積成長이 더 빨라지는 樣相이다.

2) 腐蝕疲勞壽命까지의 腐蝕感受性は 母材보다 熔接熱影響部가 더 敏感해지고 있다.

3) 腐蝕疲勞에 의한 모서리龜裂의 경우, 破面 面積成長速度 dA/dN 와 應力擴大係數範圍 ΔK 間에 다음과 같은 Paris rule이 성립되고, 기울 기인 實驗常數 m 값은 海水中에서 약 6.33-6.41 이고, 空氣中에서 약 6.60-6.95이다.

$$dA/dN = C(\Delta K)^m$$

參 考 文 獻

- 1) 榮幸雄 (1970) : 海洋雰圍氣での腐蝕要因の分 析. 金屬材料, 10(9), 13-16.
- 2) Jaske, C. E., D. Broek, J. E. Stater, and W. E. Anderson (1978) : Corrosion Fatigue of Structural Steel in Seawater and for Offshore Application. ASTM STP 642, 19-47.
- 3) 鈴 . 木 揭之助 (1983) : 海水中における軟鋼 の疲勞き裂傳播. 防食技術, 32(6), 318-323.
- 4) 益本功 · 赤石徹 (1975) : 鋼材および熔接繼手 の3%NaCl 水溶液腐蝕疲勞に関する研究(第 1報), 日本熔接學會誌, 44(3), 60-65.
- 5) T. Howard Rogers (1968) : Marine Corrosion. Great Britain, 4-10.
- 6) 임우조 · 이종락 · 이진열 (1988) : 船舶用 알루 미늄 합금材의 腐蝕疲勞龜裂 進展遲延에 미 치는 變動荷重의 影響. 韓國腐蝕學會誌,

- 17(4), 195-202.
- 7) 임우조 · 이종락 · 이진열 (1988) : 船舶用 알루 미늄 합금材의 腐蝕疲勞龜裂 進展特性에 관 한 研究. 韓國漁業技術學會誌, 24(2, 3), 97-100.
- 8) 임우조 · 김인철 · 김백운 (1989) : 航空用 알루 미늄 합금材의 腐蝕疲勞龜裂 傳播舉動에 미 치는 應力比의 影響. 韓國腐蝕學會誌, 18(1), 49-55.
- 9) 林祐助 · 金秀柄 · 李鎭烈 (1989) : 船舶用 알루 미늄 합금材의 腐蝕疲勞龜裂 進展特性和 그 抑制에 관한 研究. 韓國漁業技術學會誌, 25(2), 87-104.
- 10) 金恒寧 · 林鍾汶 · 林祐助 (1990) : SS41鋼 腐蝕疲勞龜裂 成長舉動에 미치는 海洋環境因子 의 影響(I). 韓國腐蝕學會誌, 19(3), 145-153.
- 11) 金恒寧 · 林鍾汶 · 林祐助 (1990) : SS41鋼 腐蝕疲勞龜裂 成長舉動에 미치는 海洋環境因子 의 影響(II). 韓國腐蝕學會誌, 19(4), 185-193.
- 12) Harwell, UK (1980) : The effect of seawater on corrosion fatigue in structural steels. Corrosion fatigue, 89-100.
- 13) David W, Hoepfner (1972) : Corrosion fatigue considerations in materials selections and Engineering Design. Corrosion fatigue, 3-11.
- 14) 金永植 · 金英種 (1984) : 平面 굽힘 疲勞荷重 에 의한 알루미늄 합금材의 모서리龜裂進展 傳播舉動에 관한 研究. 韓國船用機關學會誌, 8(1), 49-63.
- 15) 川原正言 · 栗原正好 (1975) : 表面き裂の疲勞 による傳播成長過程に関する豫備的考察. 日 本造船學會 論文集, 137, 297-306.
- 16) J. P. Gallagher and R. P. Wei (1971) : Corrosion fatigue crack propagation

- behavior in steels. Corrosion fatigue NACE-2, 409-410.
- 17) W. W. Gerberish, R. H. Van stone and A. W. Gunderson (1982) : Fatigue Properties of carbon alloy steel, application of fracture mechanics for selection of Metallic structural materials. ASM, Metals park, Ohio, 65-67.