

高張力鋼 熔接部의 疲勞 時間強度에
미치는 擴散性 水素의 影響에 關한 研究

A Study on the Effect of Diffusible
Hydrogen on the Fatigue Time Strength
of the Weld Bond in the High Tensile
Strength Steel

指導教授 金 永 植

The seal of Korea Maritime University is circular, featuring a stylized ship's mast in the center. The text "KOREA MARITIME UNIVERSITY" is written around the top edge, and "1945" is at the bottom. Korean characters "한국해양대학교" are also present around the inner edge of the seal.

1986 年 2 月

韓國海洋大學
船舶機械工學科 林 洙 鍾, 洪 正 一

目 次

1. 序 論 -----
2. 實驗方法 및 實驗裝置
 - 2.1 試驗材 및 試驗片
 - 2.2 動的 引張 試驗法의 概要.
 - 2.3 動的 引張 試驗裝置의 作動原理 및 實驗方法
3. 實驗結果 및 考察
 - 3.1 熔接部에 残留하는 拡散性水素量에 따른 熔接本體部의 疲勞時間強度의 變化
 - 3.2 反復 荷重變化에 따른 熔接本體部의 疲勞特性
4. 結 論

1. 序論

最近 圧力用器나 構造物 등의 安全性 確保를 위한 安全設計에 있어서 構成材料보다도 疲労強度가 낮은 熔接部の 疲労破壞防止의 問題로 對頭되고 있다. 더욱이 最近의 高強度鋼材는 各種原素의 添加處理, 혹은 熱處理方法을 通해 高張力, 強靱化를 도모하고 있기 때문에 熔接部の 機械的, 組織的 特性의 劣化現象 이 나 타나 이러한 鋼材構造物의 信賴性 確保가 重要한 問題점으로 지적되고 있다.

또한, 熔接時 熔接부에서 混入되는 拡散性 水素는 遲延破壊의 原因으로 作用하는 것은 잘 알려진 事實이나 이러한 拡散性 水素가 熔接部の 疲労強度에 미치는 影響에 대해서는 定量的으로 研究되어 있지 않은 實情이다.

그리고, 이러한 拡散性 水素는 靜的引張破斷時 荷重速度에 敏感한 反應을 나타내어 材料의 破斷強度에 크게 影響을 미친다는 事實은 이미 잘 알려져 있지만 여러가지 速度의 反復荷重이 作用할 때, 疲労強度에 미치는 影響에 대해서는 定量的으로 研究되지 않은 實情이다.

이러한 事實에 着眼하여 프랑스의 Granjon에 의해 고안된 靜的 임플란트 (Implant) 試驗機를 改良하여 單은 動的 임플란트 試驗機를 사용하여,

첫째, 拡散性 水素가 熔接 본드部의 疲勞強度에 미치는 影響을 조사하고

둘째, 拡散性 水素를 포함하고 있는 熔接部에 있어서 反復荷重速度가 熔接 본드部の 疲勞強度에 미치는 影響을 究明할 目的으로 수행하였다



2. 實驗方法 및 實驗裝置

2.1 試驗材 및 試驗片.

本 實驗에 使用한 試驗材로서는 海上構造物 이라 船舶의 강력갑판의 舷側厚板, 강력갑판의 스트링거 등 造船用으로 使用되는 두께 20mm의 국산 RA36 비조질 高張力 鋼材로서 그 化學的 成分, 機械的 性質, 炭素當量 (Ceq), 및 熔接 劣感受性 組成 (Pcm)을 Table 1. 에 나타내었다.

Table.1 Chemical compositions and mechanical properties

| RA 36 | Chemical compositions (%) | | | | | | Mechanical prop. | | | Ceq (%) | Pcm |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|--------|------------------|-----|----|---------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Nb | Y-S | T-S | EI | | |
| | 0.15 | 0.45 | 1.38 | 0.24 | 0.02 | 0.0028 | 40 | 55 | 27 | 0.398 | 0.233 |

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad \dots\dots\dots (2)$$

RA36의 母材의 化學的 成分으로부터 결정되는 pcm은 (2)式을 이용하여 구하였다.

實驗에 使用한 인플란트 試驗片 및 母板의 形狀과 各 部의 寸수는 Fig.1 에 보이는 바와 같다.

實驗에 使用한 試驗片은 모두 20mm 두께의 板 中央에서 壓延方向과 一致하게 채취하였고 試驗片의 노치 位置는 予備實驗을 通하여 熔接 劣드 部에 오도록 決定하였다.

또한, 母板은 SS41 軟鋼板을 使用하였다.

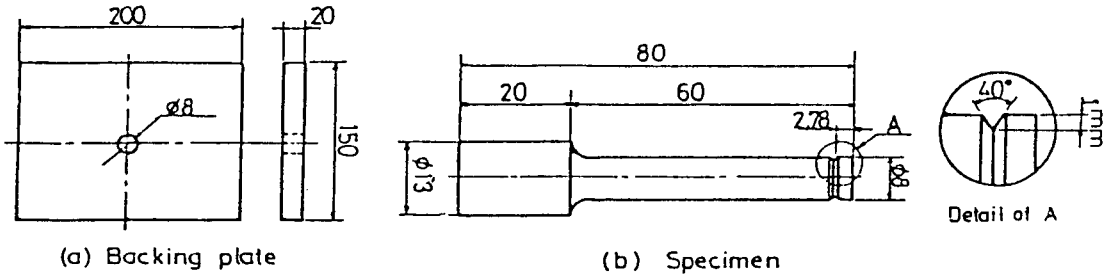
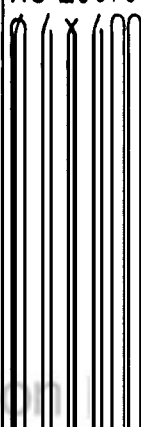


Fig.1 Shape of specimen

2.2 動的 임플란트 試驗法의 概要

Fig. 3에 動的 임플란트 試驗 (dynamic implant test) 의 概要圖를 보인다.
 원주노치를 갖는 원형 試驗片을 미리 加工해둔 母板 (Backing plate) 에 挿入한 後, Table. 2와 같은 熔接條件으로 Fig. 2와 같이 試驗片 上端部에 熔接 비이드 (bead) 가 통과하도록 비이드 온 플레이트 (bead on plate) 熔接을 實施한다.

Table.2 Welding conditions

| Electrode | Speed (cm/min) | Current (A) | Voltage (V) | Heat input (KJ/cm) |
|---|----------------|-------------|-------------|--------------------|
| KS E5016  | 13 | 170 | 26 | 20 |

2. 實驗方法 및 實驗裝置

2.1 試驗材 및 試驗片.

本 實驗에 使用한 試驗材로서는 海上構造物 이라 船舶의 강력갑판의 舷側厚板, 강력갑판의 스트링거 등 造船用으로 使用되는 두께 20mm의 국산 RA36 비조질 高張力 鋼材로서 그 化學的 成分, 機械的 性質, 炭素當量 (Ceq), 및 熔接 變感受性 組成 (Pcm)을 Table 1. 에 나타내었다.

Table.1 Chemical compositions and mechanical properties

| RA 36 | Chemical compositions (%) | | | | | | Mechanical prop. | | | Ceq (%) | Pcm |
|-------|---------------------------|------|------|------|------|--------|------------------|-----|----|---------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Nb | Y.S | T.S | El | | |
| | 0.15 | 0.45 | 1.38 | 0.24 | 0.02 | 0.0028 | 40 | 55 | 27 | 0.398 | 0.233 |

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad \dots\dots\dots (2)$$

RA36의 母材의 化學的 成分으로부러 결정되는 Pcm은 (2)式을 이용하여 示하였다.

實驗에 使用한 引플판트 試驗片 및 母板의 形狀과 各 部의 寸수는 Fig.1 에 보이는 바와 같다.

實驗에 使用한 試驗片은 모두 20mm 두께의 板 中央에서 壓延方向과 一致하게 裁취하였고 試驗片의 notch 位置는 予備實驗을 通하여 熔接 變드部에 오도록 決定하였다.

또한, 母板은 SS41 軟鋼板을 使用하였다.

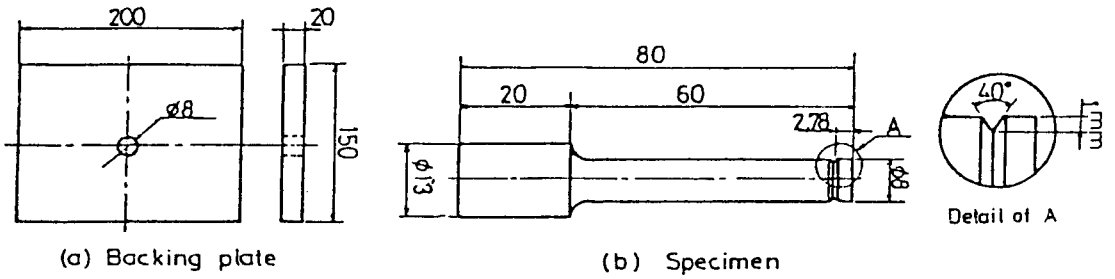


Fig.1 Shape of specimen

2.2 動的 임플란트 試驗法의 概要

Fig. 3에 動的 임플란트 試驗 (dynamic implant test) 의 概要圖를 보인다.

원주노치를 갖는 원형 試驗片을 미리 加工래둔 母板 (Backing plate) 에 挿入한 後, Table. 2와 같은 熔接條件으로 Fig. 2와 같이 試驗片 上端部에 熔接 비이드 (bead) 가 통과하도록 비이드 온 플레이트 (bead on plate) 熔接을 實施한다.

Table. 2 Welding conditions

| Electrode | Speed (cm/min) | Current (A) | Voltage (V) | Heat input (KJ/cm) |
|-----------------------|----------------|-------------|-------------|--------------------|
| KS E5016 φ 4 × 400 | 13 | 170 | 26 | 20 |

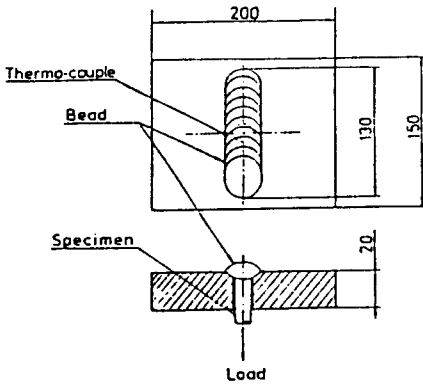


Fig.2 Shape of bead welding

이때, 응점에 수반되는 용접 열사이클로 인해 시험편 상단부에 용접 본드부 및 열영향부(HAZ)가再現되며 시험편상의 원주노치부에 용접 본드부가再現되도록 하여 용접 본드부의 疲勞特性을 評價할 수 있도록 하였다.

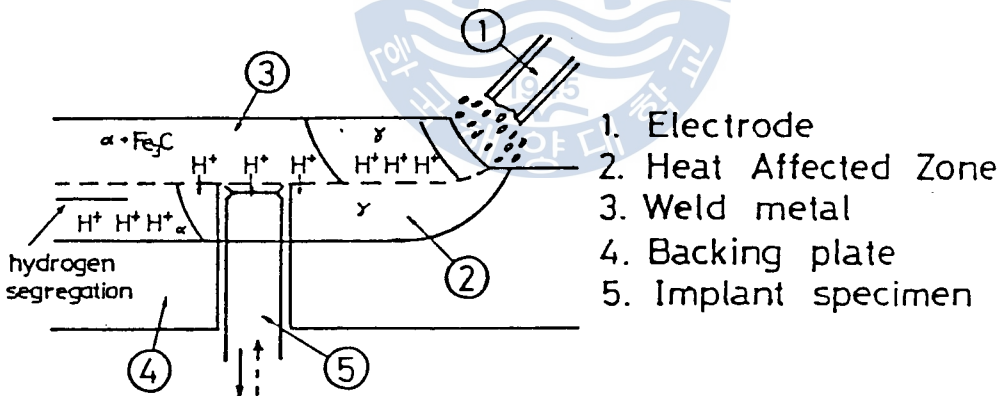


Fig.3 Method of Dynamic Implant test & the propagation of hydrogen relative to the movement of arc

또한, 용접棒的 被覆劑에 吸着된 水分이나 有機物 및 空氣中の 水分속에 包含되어 있는 分子相의 水素가 熔接過程中에 原子相의 水素로 熱解離하여 熔接金屬으로 吸收된다.

이렇게 吸收된 水素는 熔接部가 冷却됨에 따라 일부는 空氣中으로 放出되나 나머지 일부는 Fig. 3에 나타낸 것처럼, 熔接金屬 및 母材의 連續的인 疲態特性에 의한 水素溶解度에 의존하여 熔接熱影響部 (HAZ)에 分布하게 된다.

2.3 動的 임플란트 試驗裝置의 作動原理 및 實驗方法

photo.1 및 Fig.4는 動的 임플란트 試驗機의 外觀 및 概略圖를 각각 나타내었다.

그 作動原理를 說明하면, 母板과 試驗片을 Fig.2와 같이 비이드 및 플레이트, 熔接을 實施한 後,

Fig.4의 (5),(6)과 같이 攪각하고 試驗機의 片心輪(8)을 回轉시켜 연결봉(2)의 좌측 끝단부의 上下運動을 유발시킨다. 이러한 상하운동은 연결봉(2)를 通해 試驗片에 傳達되어 試驗片에 片振引張反復荷重이 作用하도록 하였다.

또한, 片心輪을 Fig.4에 表示된 화살표 方向으로 좌우이동시 으로서 試驗片에 作用하는 引張反復荷重의 크기를 調整할 수 있도록 考案되어 있다

이상과 같은 實驗方法을 通하여 熔接본드部의 疲勞破斷強度에 미치는 拡散性 水素의 影響을 評價하기 위하여 熔接實施後 反復荷重이 부하

되기까지의 放置時間을 달리 하여 (熔接直後, 熔接後 1時間 放置) 熔接部에 残留하는 拡散性 水素量을 制御해 가면서 實驗을 行하였고, 또한, 反復荷重速度에 따른 熔接본드部の 疲勞特性을 定量的으로 究明하기 위하여 試驗機의 驅動裝置에 1/5의 減速裝置를 付着하여 疲勞強度를 20 rpm, 200 rpm, 800 rpm으로 變速시켜 實驗을 行하였다.

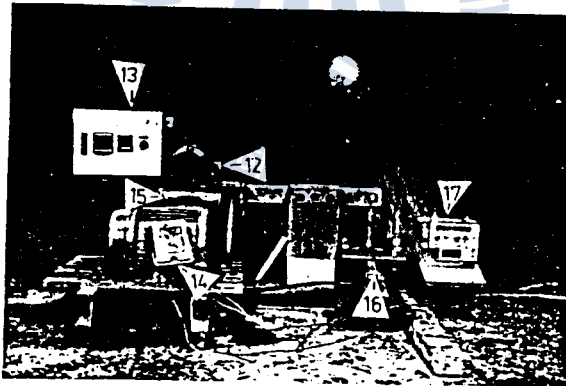
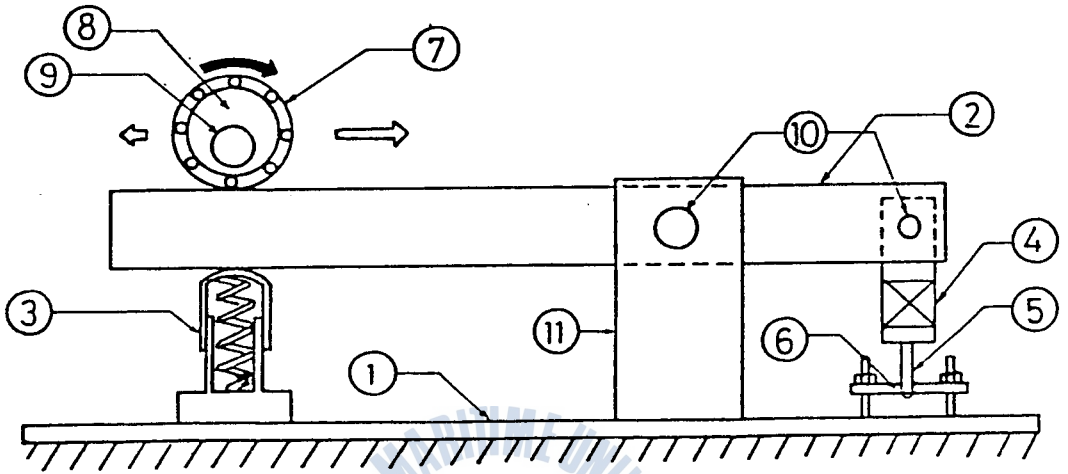


Photo.1 General view of dynamic implant tester



- | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1. Base | 7. Ball bearing | 13. Counter unit |
| 2. Connecting bar | 8. Eccentric ring | 14. Motor |
| 3. Reacting spring | 9. Shaft | 15. Reducing worm gear box |
| 4. Load cell | 10. Pin | 16. Automatic circuit breaker |
| 5. Specimen | 11. Supporter | 17. Strain amplifier |
| 6. Backing plate | 12. Sensor | |

Fig.4 Schematic diagram of dynamic implant tester

3. 實驗結果 및 考察.

3.1 熔接部에 残留하는 拡散性水素量에 따른 熔接본드部の 疲勞時間強度의 变化

Fig.5는 熔接棒을 350×1hr의 건조 조건으로 건조시켜 Fig.2와 같이 熔接을 實施한 後 放置時間을 달리함으로써 熔接部에 残留하는 拡散性水素량을 制御하여 残留水素量에 따른 熔接본드部の 疲勞 破斷力과 反復回數와의 關係를 나타낸 그림이다. 이때, 反復荷重速度는 모두 200cpm으로 하였다.

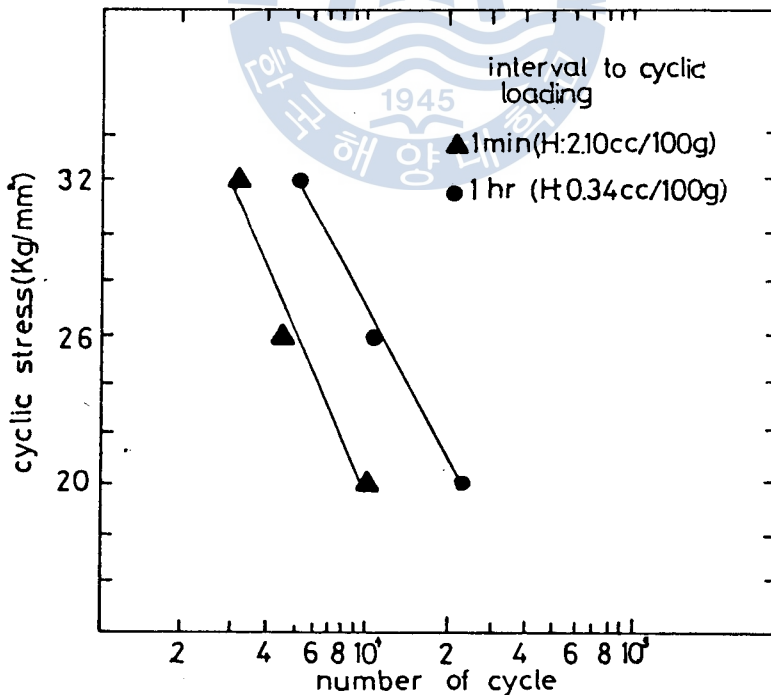


Fig.5 Cyclic stress vs. number of cycle with the change of hydrogen quantity in Dynamic Implant test(200cpm)

여기서 용접後 放置時間에 따른 残留抗散性 水素量은 JIS Z 3113 - 1975 의 글리세린 치환법에 의해 測定한 結果를 Fig.6 에 나타내었다.

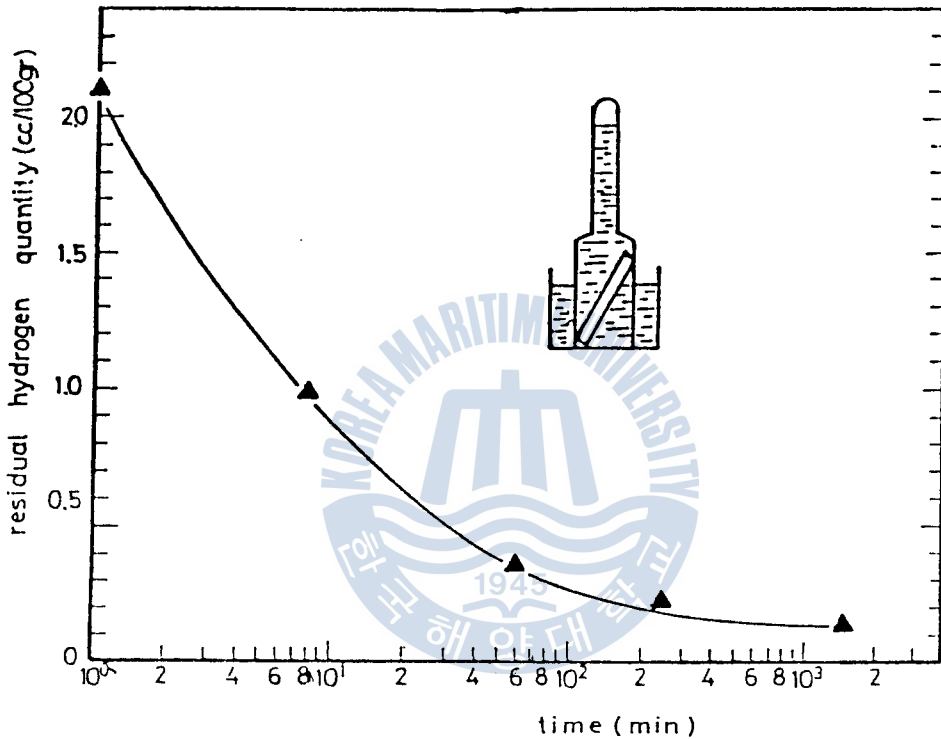


Fig.6 Measurement of residual hydrogen by means of Glycerin method

Fig.6 에서 나타낸 바와 같이 용접直後에는 熔着 金屬 100gr 당 抗散性 水素量은 2.1cc 로 測定되었으나 熔接後 1時間 放置하면 그 일부가 空氣中에 放出되어 熔接部에 残留하는 抗散性 水素量은 容積히 감소하여 0.34cc/100gr, 24時間 放置後는 0.19cc/100gr 으로 測定되었다

Fig.5의 결과에 의하면 용접後 負荷까지의 放置時間에 따라 熔接部에 殘留하는 拡散性水素量의 變化에 의해 熔接本드部の 破斷時間強度는 顯著히 影響을 받고 있음을 알 수 있다. 즉, 反復回數 1×10^4 사이클을 기준으로 하여 比較하면 熔接直後 反復荷重을 負荷하여 殘留擴散性水素量을 $2.1 \text{ cc}/100\text{gr}$ 으로 하였을 경우의 破斷時間強度는 $20 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 정도르 되나 熔接後 1時間 放置後 殘留擴散性水素量을 $0.34 \text{ cc}/100\text{gr}$ 으로 負荷하면 破斷時間強度는 $21 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 정도르 向上되며 熔接後 放置時間을 증가시키면 이 증가량은 더욱 커지고 있음을 보이고 있다.

photo.2는 熔接을 實施한 後 1時間 放置하여 20 cpm 에서 最大反復應力을 $32 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 으로 負荷하여 5×10^3 사이클에서 파단된 破面(a)와 $20 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 의 最大反復應力의 조건에서 2.5×10^4 사이클 後에 破斷된 破面(b)를 走査型電子顯微鏡으로 관찰한 破面의 樣相을 보인 것이다.

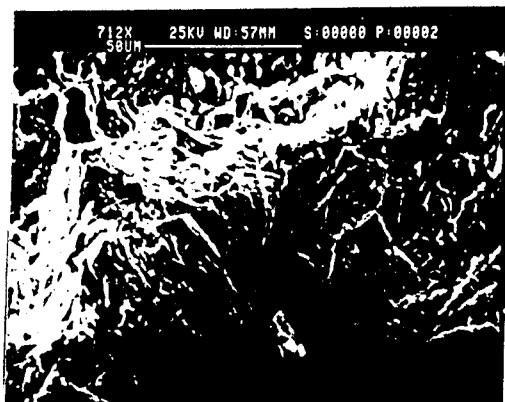
photo.2에 의하면 $32 \text{ kg}/\text{mm}^2$, 5×10^3 사이클의 高應力 低사이클疲勞에서 破斷된 破面上에는 疲勞破面의 특징인 스트라이에이션(striation) 以外에 疑壁開(Quasi-Cleavage)破面이 많이 나타나 水素誘起疑壁開은 進展機構가 空裂進展舉動에 크게 影響을 미치고 있음을 알 수 있다.

이에 비해, 低应力高사이클에서 破斷된 破面에는 水素誘起疑壁開破面도 簡畧的으로 관찰되어 지나 구로 스트라이에이션 疲勞進展 展機構에 의해 進展이 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다.

photo.3은 反復应力을 26 kg/mm^2 로 일정리 하고 熔接後 放置時間을 달리 함으로서 熔接部에 残留하는 拡散性水素量을 2.1 cc/100gr 과 0.34 cc/100gr 으로 달리한 조건에서 實驗하여 그 破斷面을 比較하여 보인 것이다.

이에 의하면 熔接直後의 拡散性水素量을 2.1 cc/100gr 으로 함이 內在하고 있는 疲勞破面은 水素誘起疑壁開破面이 대부분을 차지하며 簡畧的으로 스트라이에이션 나타낸다, 그리고 拡散性水素量이 0.34 cc/100gr 이 內在하고 있는 1時間放置後의 疲勞破面은 水素誘起疑壁開破面과 스트라이에이션이 같이 內在하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이, 高应力低사이클 疲勞에서 進展 擧動에 水素誘起疑壁開破壞機構가 顯著한 影響을 나타내는 것은 다음과 같이 考察된다. 먼저, 水素에 의한 疑壁開 進展機構를 생각하면, Fig.7의 모델에 따른다고 생각된다



(a)

$S_{max} : 32 \text{ Kg/mm}^2$

$N_f : 5 \times 10^3 \text{ cycle}$

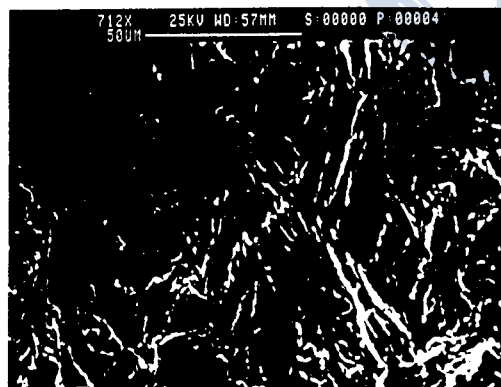


(b)

$S_{max} : 20 \text{ Kg/mm}^2$

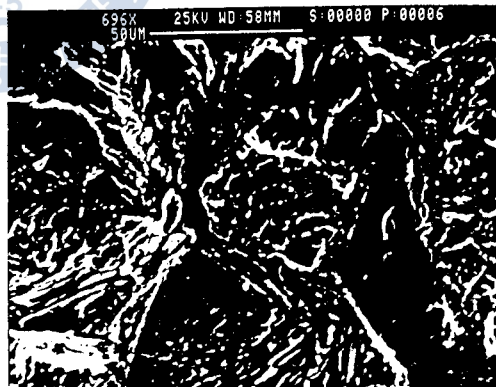
$N_f : 2.5 \times 10^4 \text{ cycle}$

Photo.2 Micro-fractographs with the change of cyclic stress level under same quantity of residual hydrogen (H:0.34cc/100gr)



(a)

H: 2.1cc/100gr



(b)

H: 0.34cc/100gr

Photo.3 Micro-fractographs with different leaving time after welding under same cyclic stress level ($S_{max} : 26 \text{ Kg/mm}^2$)

熔接 본드部の 液流 寸절은 스트라이에이션 (striation)과 水素誘起疑壁開, 寸절進展機構로 分流 할 수 있다

水素誘起疑壁開 寸절進展變動을 생각하면 式 (3.1)로 주어지는 조건에서 寸절進展은 이루어진다고 思料된다.

$$\sigma_a [\pi(c+c_1)]^{\frac{1}{2}} \geq F_m(C_H) \text{ ----- (3.1)}$$

여기서, σ_a ; applied stress

c : main crack length

c_1 : crack length of microcavity

C_H : average hydrogen concentration per unit area

F_m : cohesive force the lattice.

式 (3.1)을 도식화하면 Fig. 7과 같이 된다.

즉, 寸절先端에 形成되는 3軸應力場에 水素가 拡散集結되어 이것이 一定臨界値에 도달하면 寸절先端의 格子間 凝集強度 ($F_m(C_H)$)는 寸절先端의 破斷強度 ($\sigma_a[\pi(c+c_1)]^{\frac{1}{2}}$) 以下로 低下되어 미소寸절이 發生한다. 이러한 미소寸절은 主寸절과 連結되어 점진적인 寸절進展이 이루어진다. 이때, 관련된 水素는 空氣中으로 放出된다. 이와같은 寸절진전모열에 있어서 試驗片에 걸리는 應力이 高應力일 경우는 格子間 凝集強度를 低下시켜 미소寸절을 유발시킬수 있는 거연 임계량

의 수소가 단시간에 形成되어 疲勞균열進展 挙動에 주로 水素誘起靛壁閉 破壞機構가 지배 적으로 일어갈 수 있으나 低応力의 경우는 이것이 용이하래 이루어지지 않고 스트라이에 이션 機構가 疲勞균열進展 挙動에 主流를 이룬 다고 생각된다.

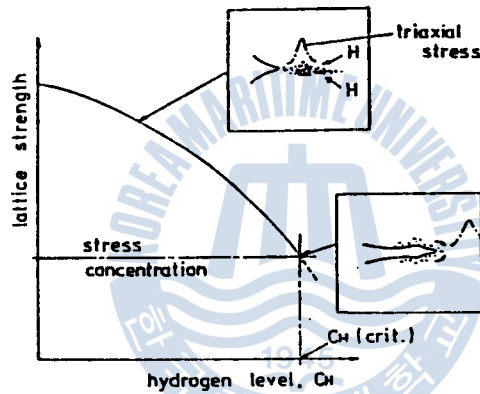
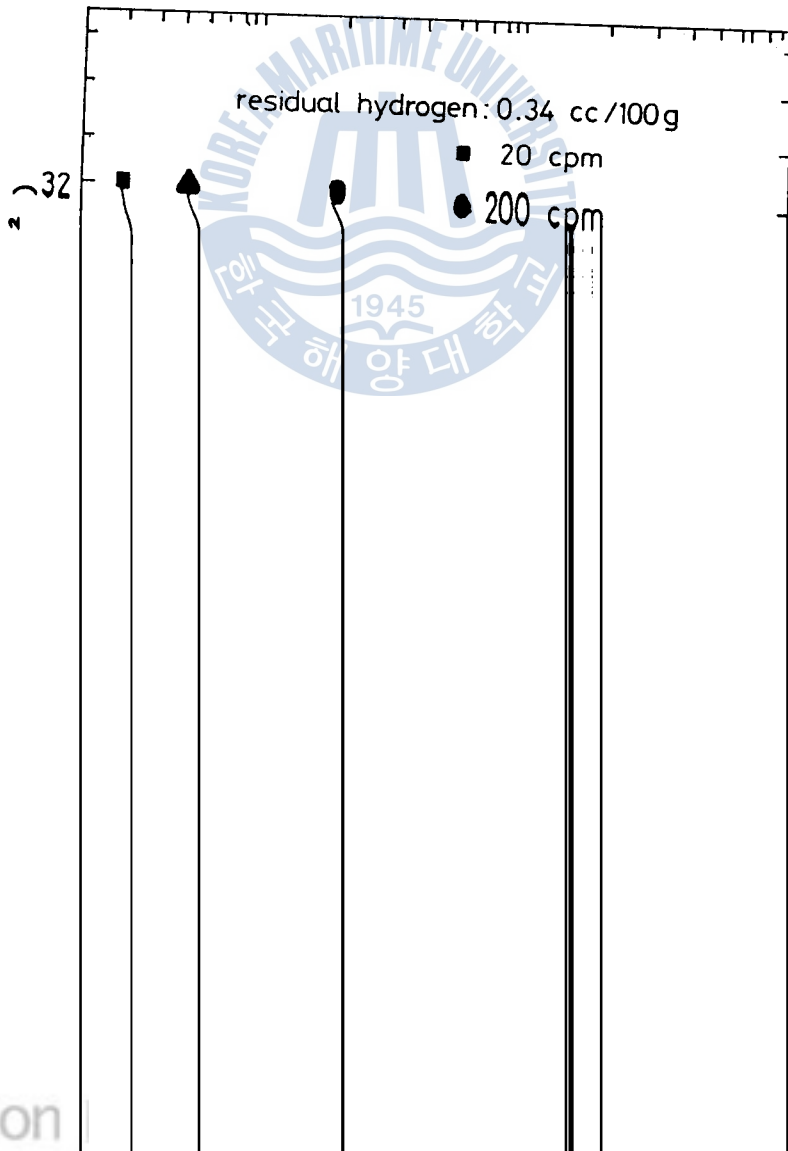


Fig. 7 Schematic diagram to illustrate equation (3.1)

3.2 反復荷重速度变化에 따른 용접 본드부의 疲労特性

一般的으로 疲労限度에 대한 反復荷重速度의
영향은 畧視되고 있지만 S-N 曲線의 形이
이에 따른 時間強度에 대해서는 顯著한
영향을 미친다고 알려져 있다



의 수소가 단시간에 形成되어 疲勞균열進展 舉動에 主로 水素誘起 疑壁開 破壞機構가 지배 적으로 일어갈 수 있으나 応力の 경우는 이것이 용이하거 이루어지지 않고 스트라이에 이션 機構가 疲勞균열進展 舉動에 主流를 이룬 다고 생각된다.

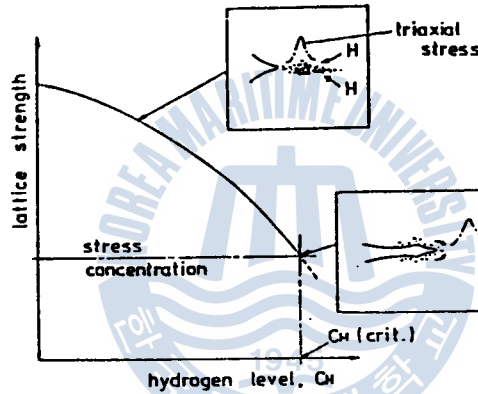


Fig. 7 Schematic diagram to illustrate equation (3.1)

3.2 反復荷重速度变化에 따른 용접 본드부의 疲勞特性

一般的으로 疲勞限度에 대한 反復荷重速度의 영향은 속視되고 있지만 S-N 曲線의 形이 變이에 따른 時間強度에 대해서는 顯著한 影響을 미친다고 알려져 있다

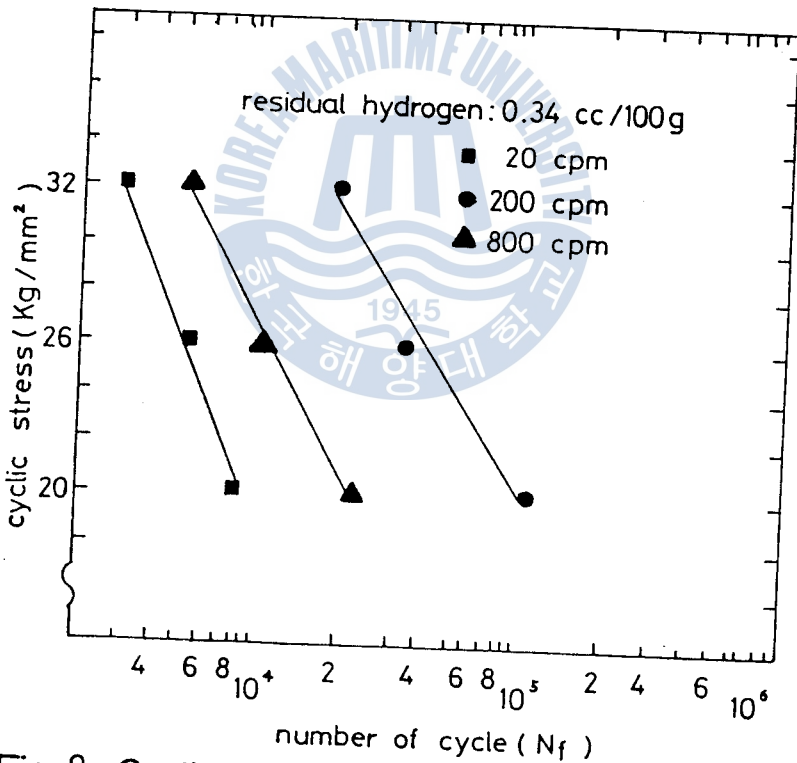


Fig.8 Cyclic stress vs. number of cyclic with the change of fatigue rate

Fig. 8은 용접棒을 350°x 1hr의 건조 조건으로 건조시켜 용접을實施한後, 常溫에서 1時間放置하여 용접部에 残留하는 拡散性水素量을 熔着金屬 100gr 당 0.34 cc로 일정하게 유지시킨後 反復荷重速度를 20 cpm에서 800 cpm까지 變化시켰을 경우, 용접 본드부의 破斷 사이클數와 反復应力과의 關係를 나타낸 그림이다.

Fig. 8에 나타낸 바와 같이 反復荷重速度의 變化에 따라 용접 본드부의 破斷時間強度는 顯著하게 變化되고 있음을 알 수 있다. 즉, 2×10^6 사이클에서 破斷時間強度를 比較해보면 20 cpm의 경우는 그림에 나타나지 않을 정도로 매우 낮은 수준을 보일 것이라 예상되고 200 cpm으로 反復荷重이 증가하면 그 疲勞破斷時間強度는 2.5 kg/mm^2 으로 증가하고 있다. 800 cpm으로 反復速度가 더욱 증가될 경우 3 kg/mm^2 으로 그 증가량은 더욱 커지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8에서 얻어진 결과를 가지고 反復速度의 영향을 더욱 定量的으로 評價하기 위해 여러가지 反復应力水準에 있어서 破斷 사이클數와 反復速度와의 關係를 나타낸 그림이다.

Fig. 9에 나타낸 바와 같이, 같은 反復应力下에서도 反復速度는 용접 본드부의 疲勞破斷 사이클數에 顯著한 영향을 미치고 있음을 알 수

있다.

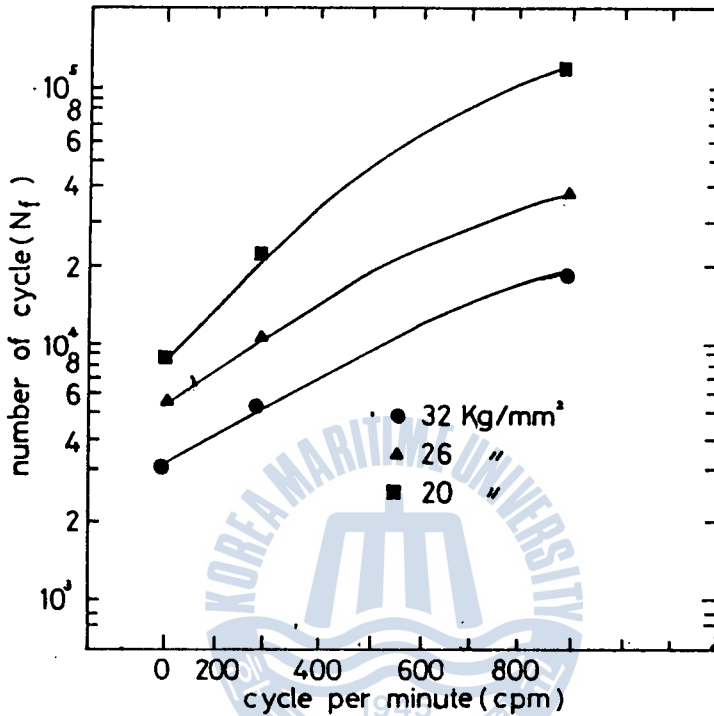
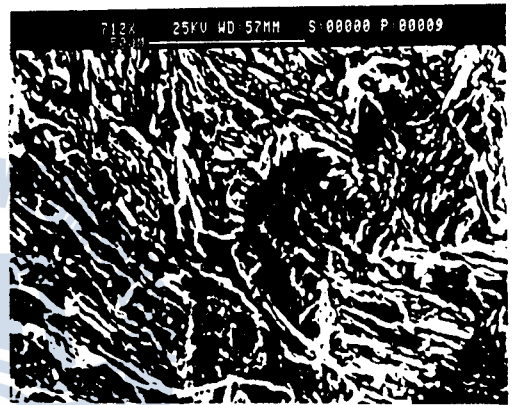
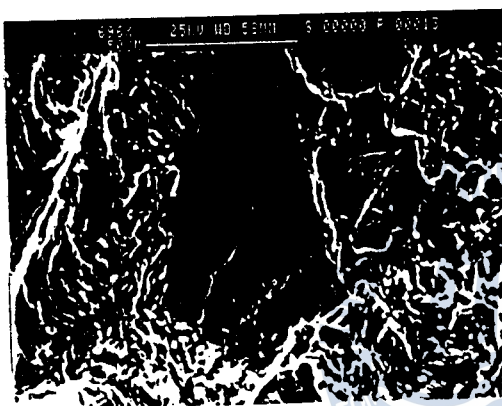


Fig. 9 Number of cycle to the fracture vs. cycle per minute with the change cyclic stress level

즉, 最大反復应力이 26 kg/mm²으로 作用할 경우, 速度인 20 cpm에서 그 破斷사이클數는 분과 6×10³ 사이를 정도 밖에 되지 않으나 200 cpm으로 速度를 증가시키면 그 破斷사이클數는 1×10⁴ 사이 클로 증가하고 800 cpm으로 速度를 더욱 증가시키면 20 cpm의 경우보다 약 6.5배정도인 4×10⁴ 사이 클로 그 破斷사이클數는 反復速度가 증속함에 따라 증가되는 경향을 알 수 있다.

또한, 實驗範圍인 20 cpm에서 800 cpm까지의 破斷 사이클 增加幅은 依應力 일수록 커지고 있다.

그리고, 一定反復應力下에서의 전체 破斷사이클數의 增加幅은 어떤 反復速度以下에서의 增加幅에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.



(a)
20 cpm
H:0.34cc/100gr
N : 6×10^3 cycle

(b)
800cpm
H:0.34cc/100gr
N : 4×10^4 cycle

Photo.4 Micro-fractographs with the change of fatigue rate under same cyclic stress level ($S_{max}; 26 \text{ Kg/mm}^2$)

photo. 4는 같은 最大反復應力條件, 즉, 26 kg/mm^2 의 응력이 作用할 경우 依速인 20 cpm에서 6×10^3 사이클 後에 破斷된 熔接部의 破面 (a)와 800cpm에서 4×10^4 사이클에서 破斷된 破面 (b)를 走査型 電子顯微鏡으로 관찰한 破面들 이다.

이에 의하면 1회 회전 20rpm에서 破斷된 破面
상에는 水素誘起疑壁開 破面의 量이 나타나
있으나, 800rpm에서 破斷된 破面은 水素誘起疑壁
開 破面이 20rpm의 경우보다 倅게 形成되었음
을 알 수 있다.

以上의 破面考察結果, Fig. 9에서 反復速度가
낮아짐에 倅라 破斷時間強度가 倅아지는 것
은 다음과 같은 原因때문인 것으로 생각된
다. 즉, 反復速度가 1회 회전수 즉 最大荷重의
作用하는 時間이 그 만큼 오랜동안 유지되
어 이로인해 1사이클당 倅열先端으로 扩散
되는 水素量이 倅게되어 水素誘起疑壁開破壞를
유발시킬 수 있는 臨界水素量이 反復速度가
높은 경우보다 倅이하게 形成될 수 있기 때
문이다.

4. 結 論

비조결 高張力 鋼材인 RA 36 鋼材에 對해서 熔接時 熔接部에 殘留하는 拡散性 水素量을 制御하여 水素量의 變化에 따른 熔接部의 疲勞 破斷時間強도를 調查하였다.

또한, 一定量의 水素가 殘留한 條件下에서 反復速度變化에 따른 疲勞破斷時間強도를 調查하였다.

實驗은 動的 應力관트 試驗裝置를 이용하였다. 本 研究 서 얻어진 結果들을 要約하면 다음과 같다.

1. 熔接 본드部의 高應力 應力사이클 疲勞破斷強度는 殘留하는 水素量에 敏感하게 影響을 받는다.
2. 一定한 初期 殘留 水素量下에서 疲勞 進展은 水素誘起 疑壁開 破壞機構와 스트라이에이션 機構에 의해서 이루어진다.
3. 反復荷重速度의 變化는 熔接 본드部의 疲勞破斷時間強度에 顯著하게 影響을 미친다.

