

鋼熔接部の 균열發生과 그 防止에 關한 研究

李 載 廷 · 辛 玟 教

A Study On the Steel Weld Cracking and its Prevention

Lee, Jae-Jeong · Shin, Min-Kyo

< 目 次 >

Abstract	3. 實驗結果 및 考察
1. 序 論	3·1 熔接균열의 發生傳播舉動
2. 實驗方法	3·2 균열先端에서의 水素胞化舉動
2·1 供試材料 및 熔接條件	3·3 Root 균열에 미치는 Groove 形狀의 영향
2·2 試驗體의 形狀	3·4 熔接棒의 管理制御와 균열 發生率과의 相關性
2·3 擴散性水素의 測定	3·5 균열발생의 防止
2·4 冷却速度의 測定	4. 結 論
2·5 균열의 發生率과 傳播狀況	參考 文獻

Abstract

Weld cracking susceptibility is a most significant problem in utilizing high strength steel in especial. In this paper, the weld cracking susceptibility of domestic SM58 high strength steel was inspected by the slit type restraint cracking test. The initiation and propagation behaviour of root crack were also revealed by means of the clip gage method.

Main results obtained are as follows.

1. The root crack which is initiated after a certain incubation period appears to be propagated intermittently. This intermittent propagating action is almost finished within 1 hr after welding performance.
2. The root cracking percentage is variable prominently according to the environment and the time during which the electrode is left alone.
3. When the preheating temperature is higher than 100°C, the root cracking of domestic SM 58 high strength steel can be prevented even if the electrode is wet.

Table 3. Welding condition.

Diameter of electrode ϕ (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Welding heat input(J/cm)
4	165	25	9.8	25,244

利用했다. Table2는 供試熔接材料의 化學組成 및 機械的 性質을 보인다. Table 3은 熔接條件을 表示한다.

2.2. 試驗體의 形狀

熔接균열 試驗體는 Fig. 1에 보이는 바와같이 Slit型 拘束試驗體(自拘束型)로서 $200\text{mm}^L \times 150\text{mm}^W \times 20\text{mm}^T$ 인 鋼板 中央部에 길이 80mm인 V型(Single bevel type) Groove를 加工한 것을 主로 利用하

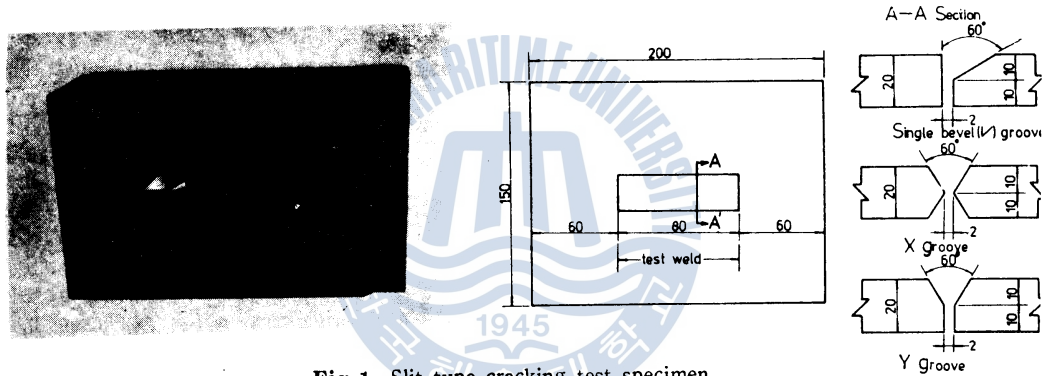


Fig. 1. Slit type cracking test specimen.

고 Groove形狀이 熔接균열에 미치는 影響을 究明하기 爲해 X型, Y型 Groove에 對해서도 實驗을 行하였다.

本 拘束試驗體에 對한 平均拘束度 K_T 는 上田 等의 解析結果를 利用하여 다음과 같이 計算할 수 있다.⁹⁾

$$K_T = 2(1 - \beta_P) \cdot \frac{E}{\pi} \cdot \frac{h}{l} \quad (3)$$

여기서 $\beta_P = 0.6 / (L/l)^n + 0.75 / (B/l)^{1.82}$

또한 $n = [5.8 / (B/l)^2] + 2.2$

L = 試驗體의 全長(mm).

l = 試驗 熔接長(mm).

B = 試驗體의 幅(mm).

h = 試驗體의 두께(mm).

本 實驗에서는 形狀이 一定한 한 種類의 試驗體에 對해서만 實驗을 行하였으나 試驗體의 두께에 따른 약간의 變化로 拘束度는 $2118\text{kg} \cdot \text{f}/\text{mm}^2$ 에서 부터 $2765\text{kg} \cdot \text{f}/\text{mm}^2$ 인 範圍內에 있다.

2.3. 擴散性 水素의 測定

熔接時 熔接材料 및 熔接環境으로 因해 熔接部에 混入되는 擴散性 水素를 測定할 目的으로 Fig. 2와 같이 水素捕集裝置를 製作하여, 水素測定用 試驗片을 그리세린으로 充滿된 뷰렛에 넣어 45°C에

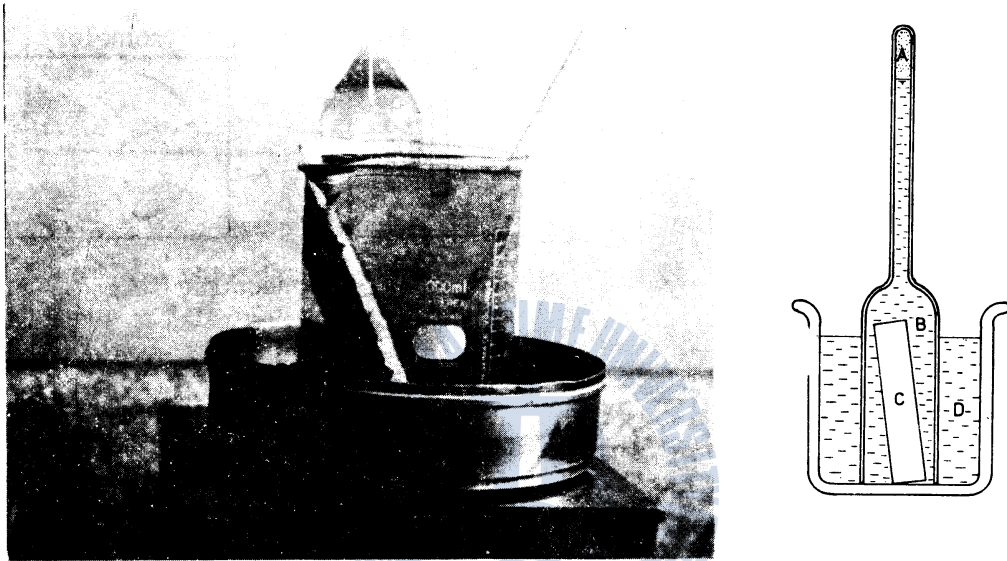
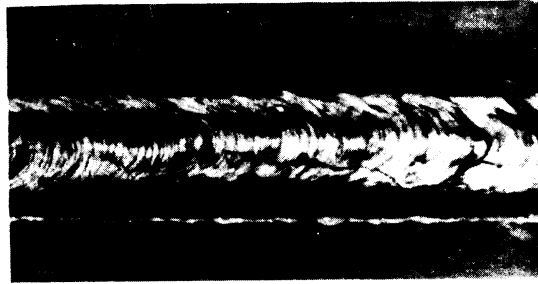


Fig. 2. Schematic diagram of hydrogen measuring apparatus.
A:Hydrogen B,D:Glycerin C:specimen.

서 48時間 放置한 後 捕集된 水素를 擴散性 水素量으로 測定하였다. 여기서 水素測定用 試驗片은 길이 130mm, 幅 25mm, 두께 13mm인 試驗片을 製作하여 이 試驗片上에 길이 110mm인 비이드熔接을 實施한 후 이것을 水中 急冷시켜 30秒 以內에 水素捕集器內에 넣어 이 試驗片으로 부터 放出되는 水素를 0.01cc까지 測定한 후 이를 다시 標準狀態에서 熔接金屬 100gr 當의 量으로 換算하였다. 捕集된 水素量으로 부터 標準狀態下의 體積으로 換算하는 것은 다음과 같이 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V_0 &= \frac{273.15}{T_1} \cdot P_1 \cdot V_1 \\
 &= \frac{273.15}{T_1} \left(P_A - \frac{\rho_G}{\rho_{Hg}} \cdot \frac{h_1}{760} \cdot V_1 \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

- 여기서
- V_0 = 標準狀態에서의 體積(m³)
 - T_1 = 回收GAS의 溫度(°K)
 - P_1 = 回收GAS의 壓力(atm)
 - V_1 = 回收GAS의 體積(cm³)
 - P_A = 液面 h_0 에서의 大氣壓(atm)
 - ρ_G = 捕集液의 密度(gr/cm³)
 - ρ_{Hg} = 水銀의 密度(gr/cm³)
 - h_1 = 液相 높이(mm)



(e) Longitudinal crack.

Fig. 6. Shape of cold crack.

溫균열인 Root균열(a~d)과 Root균열이 더욱 進展하여 용접비드 表面까지 到達했을때 비드表面에 나타난 가로균열의 樣相(e)을 보이고 있다. 이 사진으로 부터 Root균열은 최초로 應力集中率이 가장 높은 Root部로 부터 發生하여 熔接본드部, 熔着金屬部로 傳播되고 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 7은 SM58 高張力鋼과 SS41 軟鋼에 對하여 各種 熔接棒을 使用하여 試驗熔接後 1分以

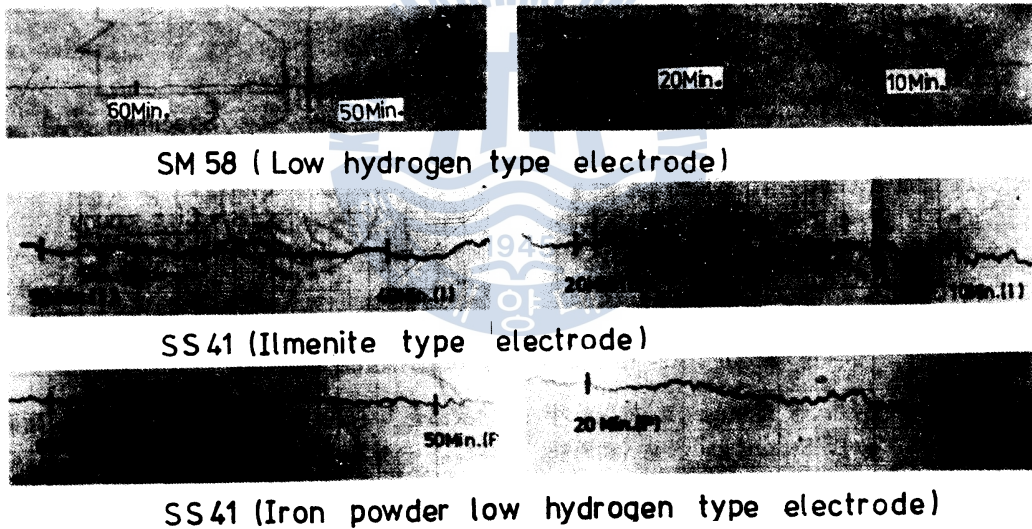


Fig. 7. Recording of root cracking behaviour.

內에 Root部 間격에 clip gauge를 삽입하여 冷却되어 가는 熔接部의 Root間隔을 連續적으로 測定한 것이며 그 時間에 따른 間隔의 變化舉動을 보이고 있다. 이 結果에서 Root균열의 進展舉動은 다음과 같이 考察된다. 熔接後 熔接金屬의 凝固收縮은 板두께 中心部로 부터 上部方向에 偏心되어 일어난다. 即 熔着金屬의 熔着量은 Fig. 6 (a)~(d)에 보이는 바와 같이 板두께 中心部로 부터 上部表面을 向하여 많아지고 있으므로 이로 因해 熱變形 및 收縮量 또한 上部表面으로 갈수록 많이 發生한다. 따라서 이와같은 收縮變形의 不均衡으로 因해 熔接部에는 冷却過程과 더불어 板中心部の 下方으로부터 上部表面으로 굽힘모우먼트가 작용하는 結果가 되고 이로 因해 clip gauge의 變位量이 크게 된다. Fig. 7에 있어서 Root間격의 變位曲線이 時間이 지남에 따라 왼쪽으로 치우쳐 가고 있음은 이것을 보이고 있다. 이러한 過程中 試驗熔接部인 Slit는 拘束試驗體의 中央에서 拘束狀態에 있으므로

로 Root部の 自由로운 收縮이 억제된다. 따라서 Root部에는 熔接 후 時間의 경과와 더불어 拘束應力이 發生하고 이러한 拘束應力이 熔着金屬의 引張強度 以上이 될때 균열이 發生한다. 이와같이 Root部에서 균열이 發生하면 前述한 收縮量의 不均衡으로 因해 生기는 板의 上方으로의 굽힘모우먼트 때문에 Root간격은 더욱 벌어지게 되고 그러므로 均열의 發生은 變位曲線에 작은 Peak점이 되어 나타난다. 이때 Peak점이 나타난 후에는 變位曲線은 다시 下降하여 Root간격이 좁아지고 있음을 보이고 있으나 이것은 순간적으로 均열이 發生, 傳播하므로써 板의 拘束力과 上部表面으로 作用하는 굽힘모우먼트間에 平衡關係가 다시 回復 維持되기 때문인 것으로 考察된다. 이와같이 平衡關係가 維持된 후 다시 收縮變形의 增加와 더불어 拘束力이 增加하고 이러한 拘束力이 熔着金屬의 機械的 特性値와 相關하여 一定한 限界値에 達하면 또다시 均열이 成長한다.

여기서 熔着金屬의 機械的 特性値는 熔着金屬의 炭素量에 依해 결정되는 硬度 및 擴散性 水素에 따르는 熔着金屬의 脆化度에 依해 영향을 받는다. 따라서 Fig. 7의 Root간격의 變位曲線中에는 均열이 成長할때 마다 Peak점으로 나타나며 이러한 간헐적인 Peak점으로 부터 Root均열의 發生進展舉動을 把握할 수 있다.

Fig. 7에 依하면 各種 용접봉의 경우 共히 熔接後 最初의 두드러진 Peak점이 나타나기 까지 一定한 潛伏期間이 存在함을 알 수 있다. 또한 철분低水素系(Iron Powder Low hydrogen) 熔接棒의 경우 두드러지게 나타나는 바와같이 熔接後 一定時間이 경과한 후에는 Peak점은 거의 없어지고 安靜狀態를 보이고 있다. 以上과 같은 考察로 부터 熔接棒의 種類에 따라 약간의 差異가 있으나 熔接後 Root均열이 發生하기 까지 약 10分內외의 潛伏期間이 存在하며 일단 發生한 均열은 그 成長이 간헐적으로 이루어지고 이러한 간헐적인 成長운동은 熔接後 약 1時間 以內에 가장 活潑하게 進行되어 그 以後에는 거의 安靜狀態로 됨을 알 수 있다.

3. 2. 均열先端에서의 水素 脆化 舉動

Fig. 8은 SM58 高張力鋼 熔接部 斷面의 Root均열 周圍에서 觀察된 銀点(Fish eye)으로 推測되는 것의 模樣을 보인 것이다. 이것은 熔接後 48時間 경과한 후에 斷面을 分割한 다음 Nital 腐蝕液에 依해 腐蝕시킨 斷面이다. Fig. 8의 結果 Root均열 주위의 水素에 依한 局部的 脆化領域인 銀点是 均열 周圍에만 觀察되는 것으로 均열先端에서의 水素脆化舉動은 다음과 같이 考察된다. 一般적으로 水素는 應力集中部의 空孔이나 非金屬性介在物의 周圍에 集中하여 壓力說 또는 轉位論的 機構에 입각하여 水素脆化를 일으킨다는 것은 잘 알려진 事實이다.^{9,10)} 따라서 拘束試驗熔接部の Root部에는 熔接後 冷却과 더불어 拘束應力이 增加하게 되고 이로 因해 一定한 潛伏期間동안 水素의 集積이 이루어져 脆化된다. 이와같이 脆化된 領域에 拘束應力이 限界値에 達하면 均열이 發生하며 일단 發生한 均열은 脆化된 領域을 쉽게 傳播한 後 정지한다. 그후 다시 一定한 潛伏期間에 걸쳐 水素의 集積이 이루어져 上記한 과정이 返復됨으로써 均열은 간헐적으로 전파하게 된다.

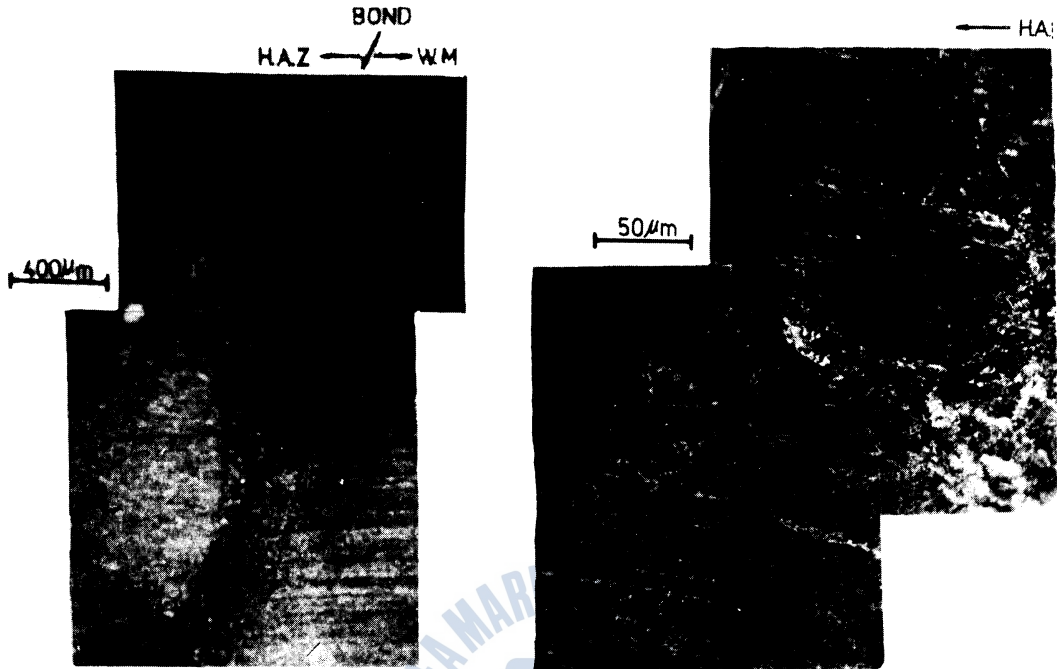


Fig. 11. Microstructure around root crack ($\times 200$).

3.3. Root균열에 미치는 Groove形狀의 영향

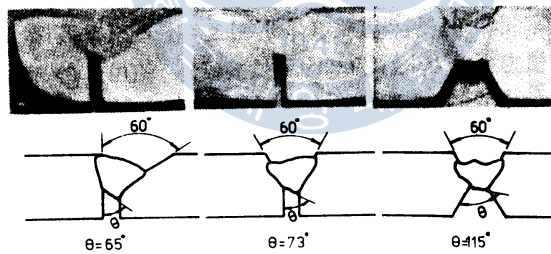


Fig. 12. Effect of groove shape on stress concentration.

Fig. 12는 Root부의 應力集中率을 支配하는 溶入角(θ)이 Groove形狀에 따라 變化하는 模樣을 보인 것이다. 이것은 Groove角이 一定한 Single bevel(V)型, Y型 및 X型 Groove의 拘束試驗片에 各各 一定한 熔接條件(熔接速度; 9.8cm/min, 熔接入熱; 25KJ/cm)으로 熔接한 후 그 斷面을 比較한 것이다. 이에 의하면 X型, Y型, Single bevel型 順으로 溶入角 θ 는 작아지고 있음을 나타내고 있다. 따라서 應力集中率은 Single bevel型, Y型, X型 順으로 낮아지며 Root균열의 發生率 또한 그러한 順으로 낮아짐을 推測할 수 있다.

3.4. 熔接棒의 管理制御와 균열發生率과의 相關性

Fig. 13과 Fig. 14는 各種 熔接棒을 乾燥爐內에서 規定乾燥條件으로 乾燥後 各各 50%와 80%의 濕

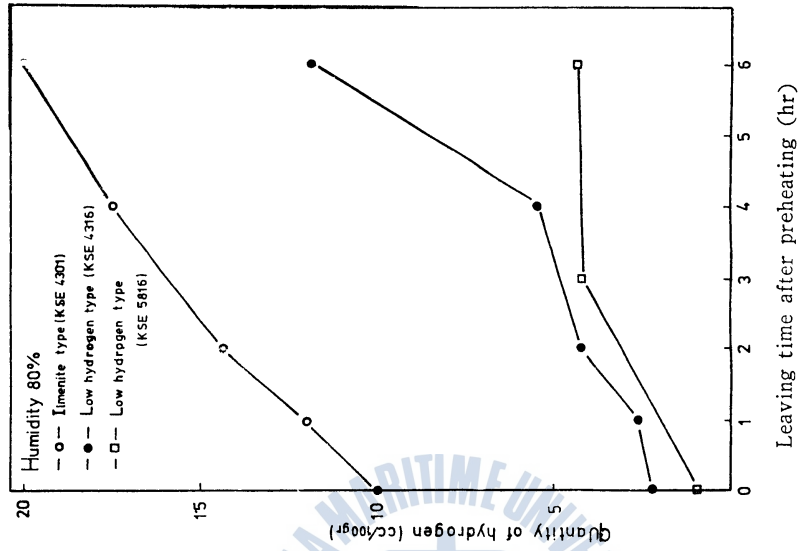


Fig. 14. Quantity of hydrogen VS. leaving time after preheating of electrode.

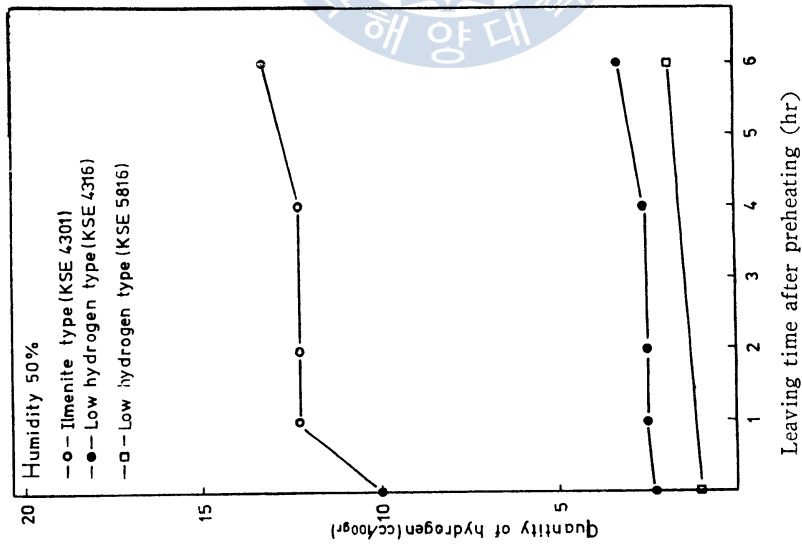


Fig. 13. Quantity of hydrogen VS. leaving time after preheating of electrode.

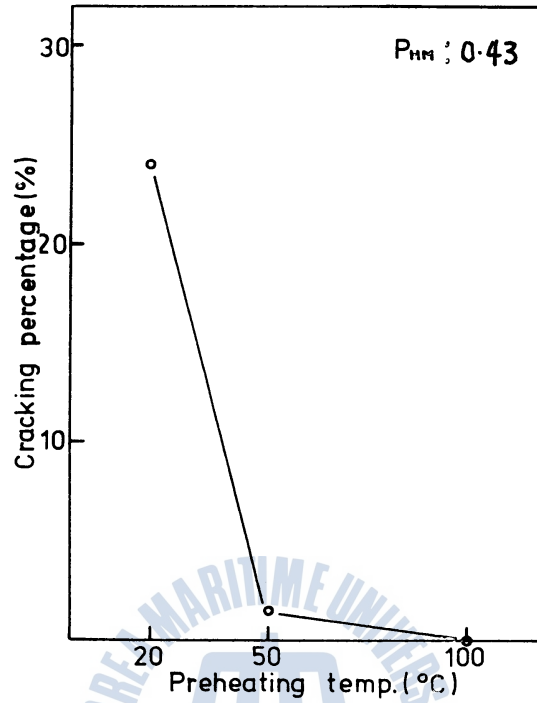


Fig. 17. Preheating temperature for the purpose of prevention of root crack. (SM58)

여기서 豫熱條件은 산소, 아세틸렌 切斷用 토오치를 利用하여 熔接部를 中心으로 幅 100mm 面積內를 均一하게 豫熱되도록 하였으며 토오치를 移動하는 速度를 變化시킴으로서 豫熱溫度를 任意로 變化시켰다.

Fig. 18에서 (a)는 豫熱하지 않고 용접한 후 용접부의 파단면을 보이며 (b)는 100°C로 豫熱 후 용접한 파단면을 보인 것이다. 이에 依하면 高張力鋼 熔接構造物 製作時 豫상되는 最大 P_{HM} 값에 對해



(a) Without preheating (b) Preheating temp. 100°C
Fig. 18. Comparison of root crack with and without preheating. (×25)

서도 100°C 程度의 豫熱溫度로 Root均열이 防止될 수 있다는 것을 보인다.

Fig. 19는 豫熱을 하지 않은 경우와 100°C로 豫熱한 경우의 冷却速度의 差異를 보인 것으로 이에

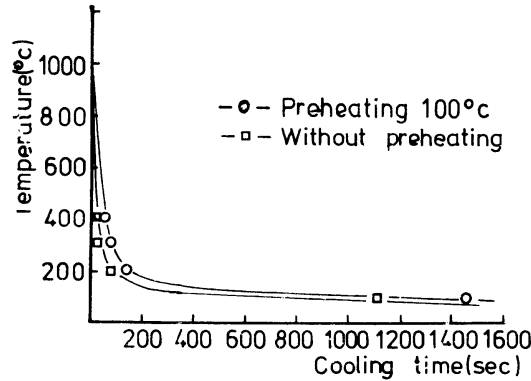


Fig. 19. Comparison of cooling rate of heat affected zone with and without preheating.

依하면 特히 M_s 点 부근에서 豫熱效果로 因해 冷却速度가 약간 완만하게 되는 경향을 보이고 있다.

또한 Fig. 20은 熔接部の 硬度 變化에 미치는 豫熱의 影響을 調査하기 爲해 一般적으로 硬度가 가장 높은 部位인

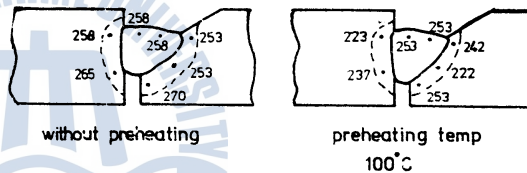


Fig. 20. Comparison of hardness at the welding joint with and without preheating. (SM58)

열영향부에 對해 豫熱을 實施한 경우와 豫熱을 實施하지 않은 경우를 微小 硬度試驗機에 依해 比較한 것이다. 이에 依하면 豫熱에 依해 熔接部는 全體적으로 硬度가 낮아짐을 보이고 있다.

一般적으로 一定한 熔接均열 發生感受性指數 P_{HM} 값에 對한 熔接金屬 및 熱影響部의 硬化性은 熔接後 冷却速度에 依해 支配된다. 따라서 豫熱效果는 熔接後 冷却速度를 완만하게 하여 熔接部의 硬化性을 低下시켜 이로 因해 Root均열의 發生 阻止效果를 가져오는 것으로 考察된다.

4. 結 論

國產 SM58 高張力鋼을 中心으로 鋼材 熔接時 發生하는 低溫 Root均열의 發生, 傳播機構에 對해 檢討하였다. 또한 船舶, 橋梁, 建築 等の 熔接構造物 製作時 熔接施工者의 立場에서 Groove形狀, 熔接棒의 管理制御가 低溫 Root均열發生에 미치는 影響을 定量的으로 分析하였으며, 國產 高張力鋼材와 熔接材料에 對한 實際 構造物 製作時 예상되는 條件을 再現하여 熔接均열 發生感受性을 評價하고 이러한 均열을 阻止하기 爲한 具體的인 豫熱溫度를 提示하였다.

重要な 結果를 整理하면 다음과 같다.

(i) Root部에서 發生되는 低溫均열은 熔接後 一定한 潛伏期間이 지나서 發生하여 간헐적으로 進展되며 이러한 간헐적인 進展舉動은 熔接後 1時間 以內에 가장 活潑하다.

(2) Root균열 周圍의 水素脆化 領域인 銀點은 熔接斷面의 Etching에 依해서도 觀察이 可能하며 이러한 銀點은 擴散性 水素量과 比例해서 많아진다.

(3) 熔接棒의 건조후 放置時間 및 放置環境의 制御는 熔接균열의 防止上 매우 重要한 要素이며 規定條件으로 熔接棒을 건조한 後 80% 습도 분위기에서 1時間 以上 防置하면 低水素系 熔接棒이라도 균열發生率은 2倍로 높아진다.

(4) 20mm 두께인 SM58 高張力鋼을 利用하여 熔接構造物을 製作할 경우 低溫균열은 100°C程度의 豫熱溫度로 充分히 防止될 수 있다.



參 考 文 獻

1. 稻垣, 伊藤: 高張力鋼, 低溫用鋼の溶接, 産報出版(1978), p.120.
2. 稻垣, 伊藤: 高張力鋼, 低溫用鋼の溶接, 産報出版(1978), p.102.
3. 中山, 松本, 稻垣: 建築鋼構造繼手の各種 溶接方法における溶接割れの研究(第一報), 溶接學會誌 Vol. 45, (1974). No. 11, p.1103.
4. 菊田, 荒木: 鋼の水素に起因する破壊と破面形態の解析, 溶接學會誌 Vol.45, (1976). No.12, p.985.
5. 松井: 溶接缺陷の發生機構と防止對策, 日本學術會議溶接研究連絡委員會, 溶接Symposium資料(1977). p.1.
6. 鈴木, 百合岡: 溶接部の水素による遅れ割れ, 鐵と鋼 Vol.67(1981). No.10, p.1657.
7. 荒木, 金子, 等: 鐵鋼の溶接, 朝倉書店, (1974). p.151~158.
8. 上田, 福田, 金: スリット溶接繼手の拘束度, 溶接學會誌 Vol.48, (1979). No.10, p.851.
9. C. A. Zapffe, C. E. Sims, Hydrogen embrittlement, internal stress and defects in steel Transaction of AIME, Vol. 45. (1941).
10. 황선호: 응력부식 파괴현상과 수소-전위의 상호작용, 한국부식학회지, Vol.9(1980). No.3, p.1.
11. 伊藤, 別所: 高張力鋼の溶接割れ感受性指數について, 溶接學會誌, Vol.37.(1968). No.9, p.983.
12. 鈴木, 新しい割れ指數 P_H によるルート割れの解析, 溶接學會誌, Vol.49.(1980). No.11, p.737.
13. 百合岡, 矢竹, 等: 鋼材の溶接遅れ割れの研究(第一報), 溶接學會誌, Vol.48.(1979). No.12, p.1028.
14. 佐藤, 寺崎: ルート部の應力集中率におよぼす開先形状, 板厚, のど厚, ルート角度の影響, 溶接學會誌 Vol.48.(1979). No.5, p.298.
15. 稻垣, 伊藤: 高張力鋼, 低溫用鋼の溶接, 産報出版, (1978), p.109.

