

# 中,高炭素低合金鋼의 熔接HAZ에서 發生하는 Quenching Crack型低溫Crack의 發生舉動

釜山工業大學

朴 和淳

大阪大學 溶接工學研究所 松田福久, 中川博二

## 1. 緒 言

中,高炭素鋼 및 中,高炭素低合金鋼은 機械構造用鋼, 工具鋼, 배어링鋼 및 特殊用途鋼으로서 널리 使用되고 있다. 이러한 鋼種을 對象으로한 溶接으로서는, 지금까지 아크熔接이 주로 행하여졌으며, 이에 대한 研究가 一部 報告되어져 있다. 그러나 最近, 電子빔, 레이저빔熔接을 이러한 鋼種의 熔接에 使用하려는 試圖가 急速히 增加함으로 인하여 이 方面의 研究가 점차 增加하고 있다. 中,高炭素鋼 및 中,高炭素低合金鋼의 熔接에 대한 큰 問題로서는 硬化能이 대단히 크고, 따라서 低溫crack이 發生하기 쉽다는 것이다. 이 低溫crack에 대해서는 水素에 의한 delayed crack뿐 만 아니라, 이것과는 다른 低溫crack이 發生하는 것으로 報告되어져 있다. 이 crack에 대한 特徵으로서, delayed crack에서 나타나는 潛伏期間이 없으며, 또 crack의 發生溫度도 약간 높다는 것등이다. 따라서, 이러한 觀點으로부터 이 crack은 熱處理時의 quenching crack과 類似한 機構에 의해서 發生하는 것이라고 推定하고 있다.

本研究에서는 quenching crack型低溫crack의 發生溫度와 時期 및 crack의 特徵등에 대하여 擴散性水素의 影響이 거의 無視可能한 條件下에서 RRC試驗(Rigid Restraint Weld Cracking Test, 完全拘束熔接 crack 試驗)을 使用하여 檢討하였다.

## 2. 使用材料 및 實驗方法

### 2.1 使用材料

使用材料는 母材로서 JIS SNCM439(以下 SNCM439, 0.40wt.%C-1.80%Ni-0.82%Cr-0.26%Mo鋼, 25mm) 및 JIS SK5(以下 SK5, 0.83wt.%C-0.48%Mn鋼, 25mm)를 使用하였다. 또 比較 data를 얻을 目的으로 JIS SM41(以下 SM41, 25mm)도 使用하였다. 溶加材로서는 擴散性水素의 影響을 거의 無視할 수 있도록 하기 위하여 austenite系 stainless鋼 wire JIS Y310(以下 Y310, 1.6mm dia.)를 使用하였다.

### 2.2 實驗方法

RRC試驗에 使用한 試驗片의 notch의 形狀은 y形으로 하고, root 間隔은 1.6mm로 하였다. 또 notch의 양끝 部分에는 tab plate를 使用하였다. RRC試驗方法은 佐藤등의 試驗方法과 거의 同一한 方法으로 행하였으며, 拘束度  $Eh/l(E; Young$

率, h; 試驗片 두께, l; 拘束距離)는 9.8, 19.6 및 29.4 kN/mm·mm의 3段階를 使用하였다. 그리고 拘束應力은 (荷重)/(bead의平均두께×tab plate部를계외한熔接長)에 의하여 구하였다. 熔接은 GTA熔接을 使用하고, 熔接條件은 熔接電流;300A, arc電壓;19V, 熔接速度;2mm/sec(120mm/min) 및 溶加材의 送給速度;12.5mm/sec(750mm/min)로 하였다. 또 試驗片의 裏面에 熔接長方向의 3個所에 CA熱電對를 挿入하여 熔接熱 cycle을 測定하였다. 그 結果, 本熔接條件에 의한 冷却時間  $\Delta t_{1073-773K}$ 는 約3.5sec였다. 또 試驗片의 한쪽 끝 部分에 crack의 發生時期를 檢出하기 위하여, AE센서를 附着하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 拘束應力 및 Crack 發生의 舉動

SNCM439 및 SK5의 拘束應力은 第2段階에서 變態에 의한 拘束應力의 低下現象을 보였는데, 이 現象은 SNCM439의 경우에 더욱 顯著하게 나타났다. 그리고 AE로 評價한 crack發生時期 및 溫度는 拘束度가 9.8, 19.6 및 29.4kN/mm·mm의 경우 SNCM439에서는 各各 約1700(約313), 700(333) 및 350sec(353K)를, SK5에서는 各各 約650(約333), 290(368) 및 190sec(393K)를 나타내었다. Crack發生應力은 SNCM439에서 約400MPa, SK5의 경우에는 約270MPa로서 材質에 따른 差異를 나타내었으나, 拘束度 및 crack發生溫度의 觀點에서는 그다지 큰 變化를 나타내지는 않았다. 또 crack 發生溫度는 拘束度가 29.4kN/mm·mm로 대단히 큰 狀態에 있어서도 SNCM439에서 約353K(80°C), SK5에서 約393K(120°C)였고, 一般的으로 이 以下の 溫度에서 crack이 發生하였다. 이러한 crack發生溫度는 從來의 水素에 起因하는 低溫crack에 비하여 조금 높은 정도라고 할 수 있지만, 큰 差異는 없다. 이런 理由때문에 quenching crack型低溫crack과 水素에 의한 低溫crack의 區別은 一般的으로 어려운 것이 된다. 이러한 crack發生溫度와 martensite變態와의 關聯性을 調査하기 위하여 高周波誘導式熱cycle再現裝置를 使用하여 高溫으로부터의 冷却中( $\Delta t_{1073-773K}$ ; 2.5sec)의 變態膨脹을 測定하였다. 이 結果에 의하면 SNCM439 및 SK5의  $M_s$ 點은 各各 約553K(280°C), 473K(200°C)였다. 또 SNCM439에서 crack이 發生한 最高溫度353K에서는 大部分의 變態가 이미 거의 完了한 後라는 것을 알았다. 한편, SK5에서는 變態가 거의 50% 정도 進行한 時點이었다. 그리고 SK5에서는 拘束應力의 第2段階에 있어서의 拘束應力의 低下가 SNCM439에 비하여 적었는데, 그 理由는 다음과 같이 생각되었다. 이러한 鋼種의 HAZ는 주로 martensite組織을 나타내었는데, 硬度分布의 結果에 의하면 SNCM439의 硬化域은 SK5에 비하여 2倍以上을 나타내었다. 따라서 이 硬化域의 差로 인하여 SNCM439의  $M_s$ 點이 높음에도 불구하고 變態膨脹等에 의한 應力의 低下가 보다 크게 나타났다고 생각되었다.

### 3.2 Crack의 Macro/Micro 組織

SNM439와 SK5의 熔融境界近方の 組織은 어느 것도 주로 martensite 및 少量의 殘留austenite로 되어 있었다. 단 SK5에서는 部分的으로 troostite가 觀察되었다. 그리고 熔接金屬은 어느 것도 austenite를 나타내었다. Crack은 먼저 root部에 가까운 粗粒域의 HAZ에서 發生하여, 그 後 熔融境界部에 가까운 HAZ를 傳播하고 있었다. 그리고, crack近方에서는 粒界液化的 痕迹이 많이 觀察되었다. 以上の 結果로부터, 熔接joint部の quenching crack型低溫crack의 發生位置는 熔融境界部近方の 粗粒HAZ의 粒界液化部라고 생각되었다.

Crack發生部附近的 micro破面은 典型的인 粒界破面으로, 破面의 大部分은 塑性變形이 적고, 대단히 脆性的이었다. 또 crack이 發生한 後의 傳播部에서는 粒界破面과 함께 심한 塑性變形을 보이는 quasi-cleavage破面도 觀察되었다.

### 4. 結 言

中炭素低合金鋼SNM439 및 高炭素鋼SK5의 quenching crack型低溫crack의 發生舉動에 대하여 RRC試驗을 使用하여 檢討하였다. 얻어진 結果는 다음과 같다.

(1)RRC試驗에 의한 拘束應力의 變化는 變態膨脹에 의한 拘束應力의 低下가 明瞭하게 發生하였다. 따라서 이러한 鋼種의 熔接時에는 이러한 效果를 無視할 수 없다는 것을 알았다.

(2)3種類의 拘束度의 어느 경우에 있어서도 낮은 應力에서 crack이 發生하였다 이것으로부터 이들 鋼材는 擴散性水素量이 極히 적은경우에 있어서도 quenching crack型低溫crack 感受성이 높은 것을 알았다.

(3)AE법을 使用하여 crack發生時期를 推定하는 方法을 檢討하였는데, 이 方法으로 比較的 良好하게 crack發生을 評價할 수 있다는 것을 알았다. 이 AE法에 의하여 評價한 crack發生時期에 의하면,拘束度가 대단히 큰 狀態에 있어서도 Ms點보다 상당히 낮은 溫度(373K前後)에서 crack이 發生하였으며, 또 拘束度의 低下와 함께 crack發生溫度도 低下하였다. 이러한 結果로부터 quenching crack型低溫crack은 從來의 水素에 의한 低溫crack과 거의 같은 程度의 溫度에서 發生한다는 것을 알았다.

(4)本實驗의 範圍內에서는, 同一鋼材에서는 拘束度,發生溫度에 關係없이 거의 一定應力値에서 crack이 發生하였다. 이들 값은 SNM439에서는 約400MPa, SK5에서는 約270MPa이었다.

(5)quenching crack型低溫crack의 發生位置는, 熔融境界部近方の 粗粒化한 HAZ의 粒界의 液化部에서 發生하였다.

\* 參考文獻은 page關係上 省略하였습니다.