

I . 4 後熱処理割れ(SR 割れ) (Stress-Relief Cracks)

概説 (Outline)

SR 割れは、溶接部の残留応力の軽減、組織の改善などの目的で実施される溶接後熱処理過程、あるいは溶接構造物として高温で使用中に発生する割れで、多くは熱影響部 (HAZ) の粗粒域で発生することが報告されている¹⁾。発生した割れが原因となって脆性破壊が生ずる危険性があるため²⁾、その防止に向けて多大の努力が払われている。T-1 タイプの HT80, Ni-Cr-Mo 鋼, Cr-Mo 鋼, Cr-Mo-V 鋼, SUS347 ステンレス鋼などで SR 割れが発生することが認められている。

鋼に発生する代表的な SR 割れをあげると、Fig.1 に示すような HAZ の割れと、Fig.2 に示すような肉盛溶接による母板の HAZ の割れに大別できる。Fig.2 に示すような割れはアンダークラッド・クラッキング (Underclad Cracking, UCC) とも呼ばれている。

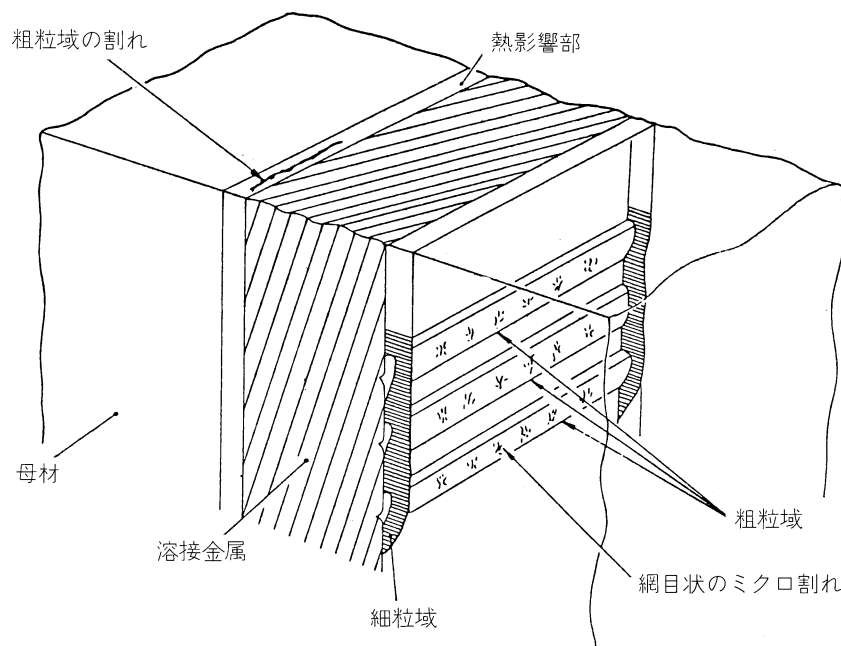


Fig.1 熱影響部に発生する SR 割れの模式図

SR 割れの一般的な特徴をあげると次のようである。

- (1) 溶接後熱処理温度へ加熱中³⁾ もしくは保持中⁴⁾ あるいは溶接構造物として使用中⁵⁾ に発生する。
- (2) 低合金鋼の場合には 500～750℃ の温度範囲で発生しやすい¹⁾。
- (3) 拘束度が大きく、残留応力の高い継手において発生しやすい⁶⁾。
- (4) SR 割れは多くの場合、Fig.3 に示すように HAZ の粗粒域の結晶粒界において発生し、粒界を伝ばする⁷⁾。したがって、HAZ の粗粒域に余盛止端部、融合不良、高温割れなどの応

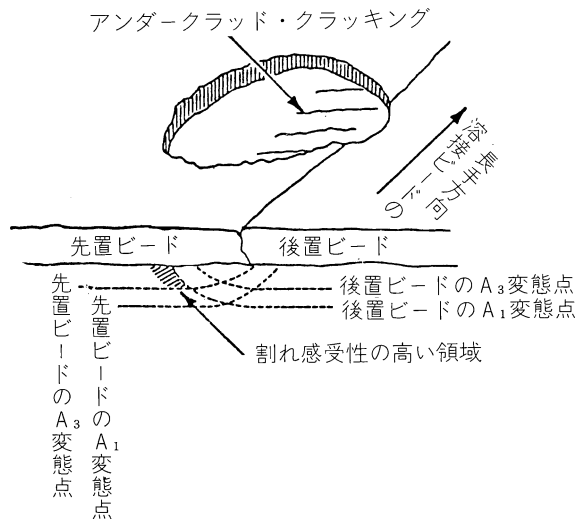


Fig.2 アンダークラッド・クラッキングの模式図



Fig.3 HT-80 の熱影響部粗粒域に発生した SR 割れのマイクロ組織 (斜め Y 形自拘束試験片による SR 割れ試験片, 600℃×2hr 空冷)

力集中源が存在する場合には、その発生の危険性は高くなる。

(5)HAZ の細粒域では割れは発生せず、粗粒域から伝ばしてきた割れも細粒域に達すると停止する⁸⁾。

SR 割れのマイクロ破面は極めて平坦な破面組織を呈する場合と粒界ディンプル形の破面組織を呈する場合がある^{9),10)}。粒界ディンプル形のマイクロ破面の場合には、ディンプル底に MnS などの微小粒子が存在することが多い¹¹⁾。

Fig.4 は 1Cr-0.5Mo 鋼の斜め Y 形自拘束試験片を 600℃へ約 3 時間で加熱し、600℃へ到達後直ちに炉冷して得られた、典型的なマイクロ破面である。図にみるように、平坦な粒界破面を呈している。しかし 600℃近傍の温度で空气中に比較的長時間さらされたため、破面の表面は酸化皮膜におおわれており、さらに詳細な破面を観察することは不可能である。

そこで実験的に再現した SR 割れの破面組織を次に示すことにする。

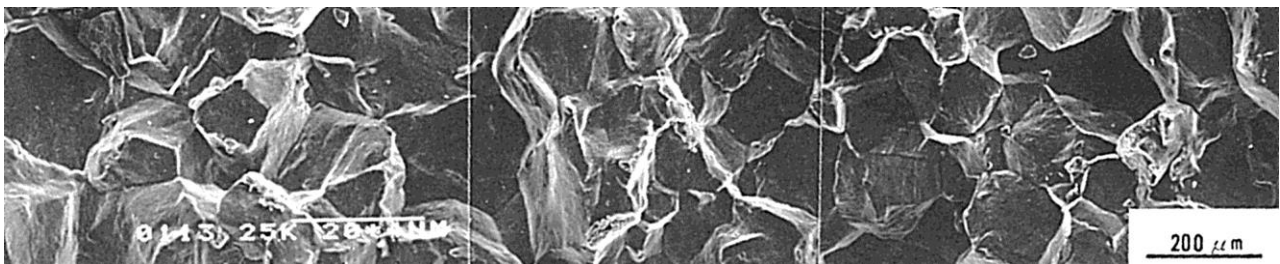


Fig.4 1Cr-0.5Mo 鋼の SR 割れのマイクロ破面 (斜め Y 形自拘束試験による SR 割れ試験, 600℃へ約 3hr で加熱後炉冷)

Fig.5 は 1350℃へ急熱後, 800℃から 500℃の冷却時間が 10 秒の溶接熱サイクルを付与し, 切欠付試験片に加工した 1Cr-0.5Mo 鋼を用いて定荷重試験を行ない, 得られた SR 割れ破面である. 定荷重試験時に採用した後熱処理熱サイクルは次のとおりである. すなわち, 400℃へ急熱後, 400℃から 600℃へ 1 時間で加熱し, 600℃へ到達後直ちに空冷する熱サイクルである. 図にみるように, 切欠先端部には粒界破面が認められ, そのマイクロ破面は極めて平坦である. なお, 負荷した応力は 15kgf/mm²である.

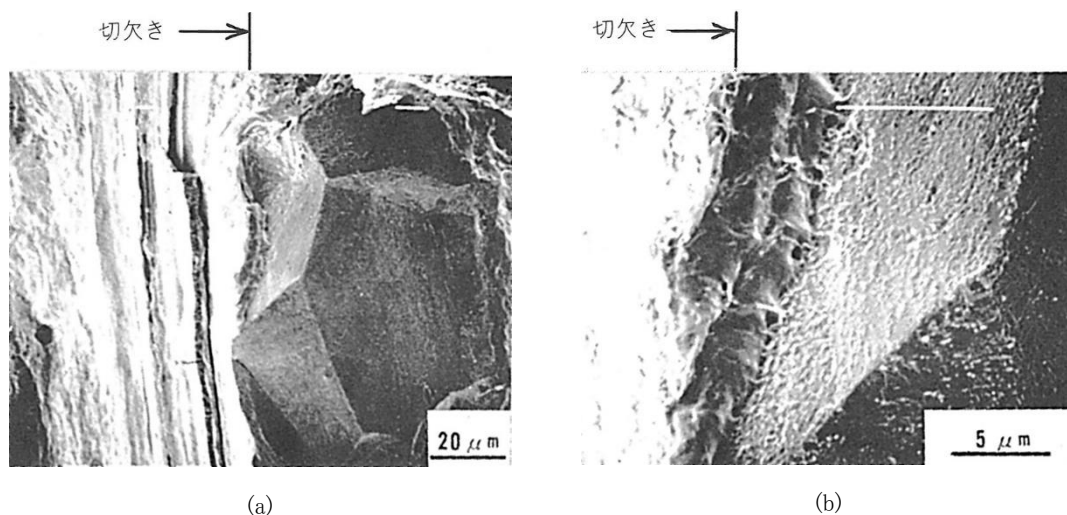


Fig.5 定荷重試験装置による 1Cr-0.5Mo 鋼再現熱影響部材の SR 割れのマイクロ破面

一方, Fig.6 は Fig.5 の場合と同様の溶接熱サイクルを付与した 1Cr-0.5Mo 鋼を用いて定荷重試験 (負荷応力: 3.5kgf/mm²) を行ない, 得られた粒界割れのマイクロ破面で, 典型的な粒界ディンプルの様相を呈している. なお, 400℃から 600℃への加熱時間は 2 時間である.

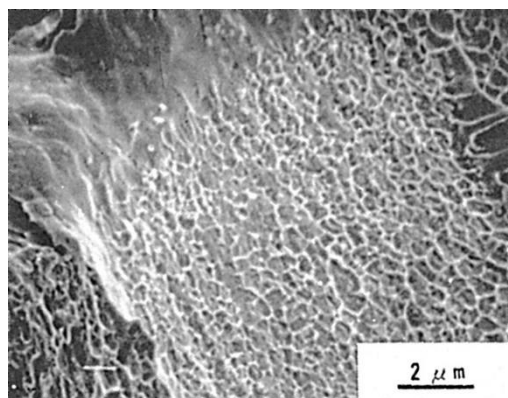


Fig.6 定荷重試験装置による 1Cr-0.5Mo 鋼再現熱影響部材の SR 割れのマイクロ破面

SR 割れは, V 炭化物や Mo 炭化物の粒内析出にともなう相対的な粒界強度の低下あるいは, P, S, Sb などの不純物元素の粒界偏析にともなう粒界強度の低下に起因して発生すると考えられている.

Fig.5 のような平坦な粒界破面は, 負荷応力が比較的高く, SR 温度への加熱時間が短い場合に多く認められ, Fig.6 のような粒界ディンプル形のマイクロ破面は, 負荷応力が低く, SR 温度への加熱時間が比較的に長い場合に形成されやすい.

参考文献

- 1) 内木, 山崎, 真子, 岡林 : 溶学誌, Vol.33(1964), No.9, p.710.
- 2) A. Dhooge, R. E. Dolby, J. Seville, R. Steinmetz and A.G.Vinckier : A Review of Work Related to Reheat Cracking in Nuclear Pressure Vessel Steels, IIW Doc. No.IX-1137-79, X-932-79 (1979).
- 3) R. A. Swift : Weld. J., Vol.50(1971), No.5, 195s.
- 4) C. F. Meitzner and A. W. Pense : Weld. J., Vol.48 (1969), No.10, 431s.
- 5) R. M. Curran and A. W. Rankin : Trans. ASME, Vol.79 (1957), p.1398.
- 6) 廣松, 笠松, 堀川, 太田, 金尾 : 溶学誌, Vol.46 (1977), No.12, p.893.
- 7) 内木, 岡林, 糸 : 溶学誌, Vol.33 (1964), No.9, p.718.
- 8) 伊藤, 中西 : 溶学誌, Vol.40 (1971), No.12, p.1261.
- 9) K. Kussmaul and J. Ewald : Assessment of Toughness and Cracking in Heat-Affected Zone of Light Water Reactor Components, Third International Conf. on Pressure Vessel Technology, Tokyo, April, 19-22, (1977).
- 10) C. A. Hipsley : Metal Science, (1981), No.4, p.137.
- 11) C. J. Middleton : ibid., (1981), No.4, p.154.