

M-07 クラッド剥離、オーバレイ剥離

1. 概要

クラッド鋼が高温高圧水素環境で使用される場合、運転中に吸蔵された水素が、停止冷却時に粗大炭化物周辺に補足されて分子化し、母材との境界部でクラッド、オーバレイを剥離させる現象。

2. 損傷を受ける材料

クラッド鋼：

炭素鋼／オーステナイト系ステンレス鋼、

低合金鋼（Cr-Mo 鋼）／オーステナイト系ステンレス鋼

3. 損傷機構

石油精製用直脱硫反応塔などの内壁は高温高圧の水素環境にさらされる。圧力容器は炭素鋼や低合金鋼（Cr-Mo 鋼等）で作られているが、内面には、耐食性を確保するためオーステナイト系ステンレス鋼が肉盛り溶接されることが多い。これらからなる圧力容器が、高温高圧水素雰囲気下で操業を停止した際、母材と溶接金属の境界近傍に剥離割れが生じることがある。剥離割れは、操業中に容器内壁に吸蔵された水素が、操業停止時に母材と溶接金属の境界に集積し、残留応力と相まって誘発される現象である。

クラッド、オーバレイ（肉盛り金属）の剥離割れは、オーバレイのCr炭化物が析出した粗大晶粒界に沿って進行するが多い。オーバレイ剥離には、環境要因の影響が大きく、水素分圧及び運転温度が高いほど発生しやすく、また、高温・高圧水素に暴露された後の冷却速度が大きいほど発生しやすい。

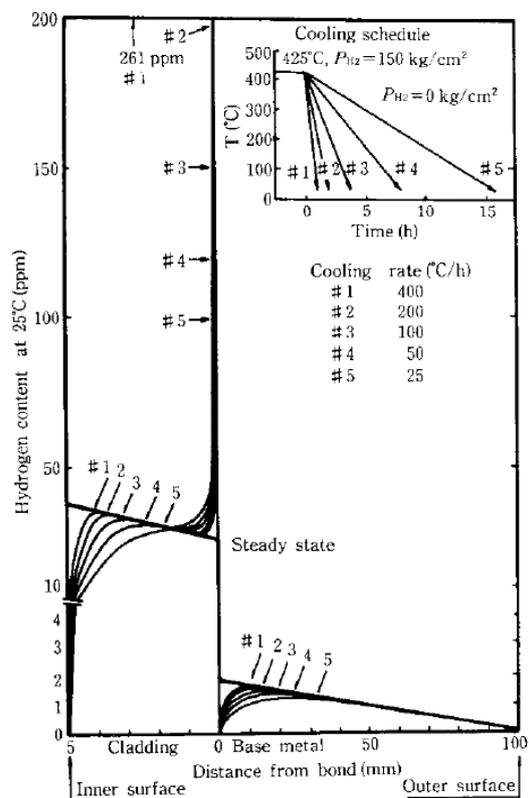


図 1 は、操業停止時を模擬し、温度 425°C、 $P_{H_2}=150\text{kgf}/\text{cm}^2$ から

図 1. 常温での水素濃度分布に及ぼす冷却速度の影響¹⁾

$P_{H_2}=0$ の状態にして種々の冷却速度で室温（25℃）まで冷却した場合の、容器壁内部（肉盛りクラッド／母材）の水素濃度分布を、水素の拡散係数（オーステナイト鋼で小さく、フェライト鋼で大きい）を用いて計算した一例である。運転時の定常状態では、フェライト中の水素の拡散係数が大きいため、境界で水素濃度の段差が生じ、フェライト側で水素濃度が小さくなる。冷却時では、温度低下によって、クラッド（溶接金属：オーステナイト）と母材（フェライト）との境界において水素活量の連続性がくずれ、水素は母材から溶接金属側へ逆流する。また母材に比べて溶接金属（オーステナイト）においては水素の拡散係数が小さいことと相まってその界面の溶接金属側に水素が異常に集積する。この異常集積は冷却速度が大きい場合に著しい。この水素の異常集積が剥離割れの伝播に関与する。

4. 損傷事例

図2にSUS309オーバレイ／母材近傍に生じた剥離割れと、光学顕微鏡組織を示す。溶接金属と母材との境界部には溶接後の熱処理（PWHT：690℃、30h）時に形成された炭化物析出層が溶接線に沿って帯状に存在する。その溶接金属側には、肉盛り溶接時に生じた粗大オーステナイト粒が形成されている。粒界には溶接後熱処理（PWHT）時に析出した炭化物が観察され、割れは粗粒の粒界に沿って伝播している。図2の矢印a、b、cで示したように、剥離割れは溶接後熱処理（PWHT）に形成された炭化物析出層を起点として発生していると推測される場合がしばしば認められる。

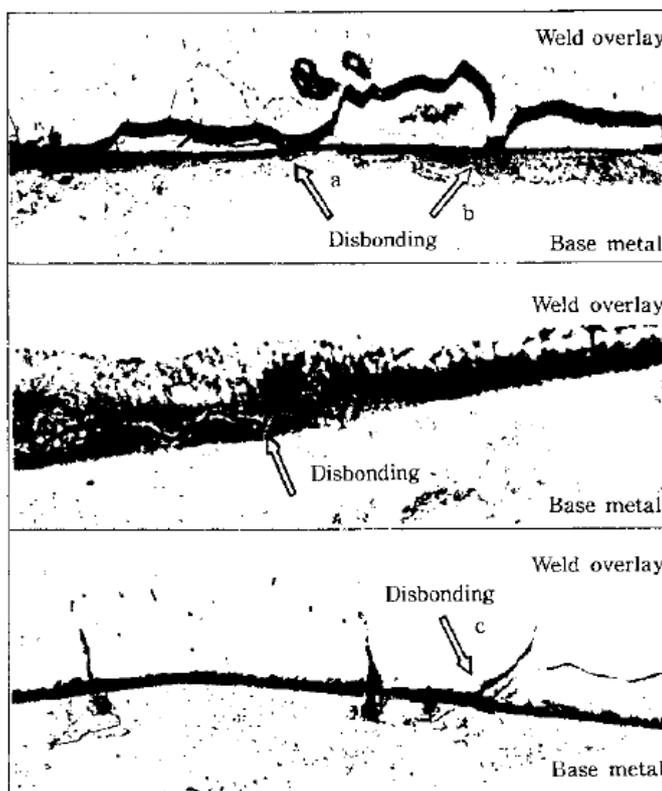


図2. SUS308／Cr-Mo オーバレイ鋼の剥離割れ¹⁾

5. 対策

溶接肉盛り金属の組成、 δ フェライト量を制御することによって、剥離割れを抑制できる。

6. 参考文献

- 1) 今中 拓一、下村 順一、中野 昭三郎、安田 功一：川崎製鉄技報 17(1985) 1,84-92