

M-08 クラッド下割れ、アンダークラッド・クラッキング (UCC)

1. 概要

低合金鋼にステンレス鋼を肉盛り溶接する場合に、ステンスクラッドの母材（低合金鋼）側に発生する割れをアンダークラッド・クラッキング (UCC)、あるいはクラッド下割れとよんでいる。日本国内の原子炉圧力容器で発見された UCC はクラッド表面にほぼ直角に存在し、一般に溶接方向の 45~90° にわたり発生するという特徴があった。被覆下割れと呼ぶ場合もある。

2. 損傷を受ける材料

クラッド鋼（低合金鋼／ステンレス鋼）

3. 損傷機構、損傷事例

国内の原子力発電所で、原子力用圧力容器クラッド鋼のクラッドを剥ぎ取ったところ、原子力圧力容器母材内表面にひび割れが発見された。この割れは、アンダークラッド・クラッキング (UCC) と呼ばれているものである。原子力圧力用鋼には、ステンレス鋼を肉盛り溶接しているが、割れは、母材の熱影響部 (HAZ) の粗粒域に生じることがあり、割れ形態は粒界割れである。

小平¹⁾らの再現試験の結果によると、割れの発生位置は、1st ビード HAZ 粗粒域中の 2nd ビード HAZ に隣接した部分に生ずる。細粒域には生じない。さらに、母材に熱電対を埋め込み、肉盛り溶接時の熱サイクルと割れの挙動を調べた結果によると、UCC 発生域は 1st 熱サイクルで 1200°C 以上になり 2nd 熱サイクルで約 500°C に達した粗粒域であった。一方、1st 熱サイクルの最高温度が 750°C、2nd 熱サイクルの最高温度が約 300°C の領域では、UCC は発生しなかった。以上のことから、UCC 発生域は 1st 熱サイクルで 1200°C 以上、2nd 熱サイクルで A_{C1} 以下~500°C に加熱された部分であると判断できる。

安田らが図式化した UCC 発生域を図 1 に示す。

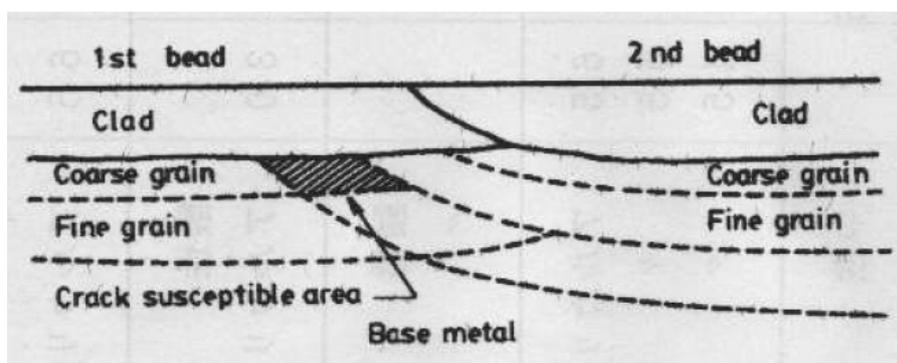


図 1. UCC の発生域（黒く斜線が入った個所）²⁾

溶接熱サイクルの違いによって生じる熱応力を調べると、図2のようになる。図2では、1st 熱サイクル（破線：PT1350℃）後、2nd 熱サイクルの再熱温度を変化させている（曲線：①～⑦）。 A_{c1} 以下の再熱では、再熱温度が高温ほど、冷却過程で大きな引張塑性変形を伴い残留応力も高くなる（①→⑤）。 γ 域に再熱されたものは冷却過程で変態膨張が生じるため残留応力は緩和される（⑥、⑦）このことから、UCCは結晶粒粗大化域と残留応力の高い領域とが重なった部分にSR中に発生する再熱割れの種類であると推察される。

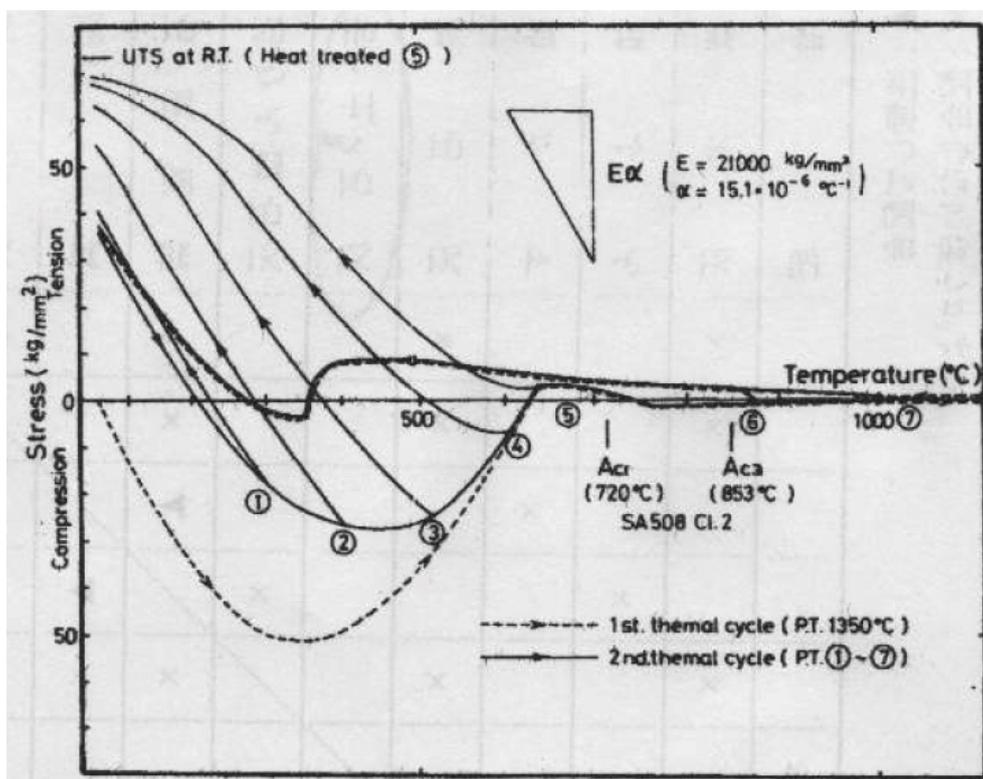


図2. 溶接熱サイクルによって生じる熱応力（両端固定）²⁾

4. 対策

堀谷³⁾らは、低合金鋼の組成から、UCC感受性を示す指数として次の式を提案している。

$$T = 20V + 7C + 4Mo + Cr + Cu - Mn + 1.5 \log X$$

ここで $X = Al$ ($Al < 2N$ の場合)、 $X = 2N$ ($Al > 2N$ の場合)

指数が 0.9 以下で、UCC は防止できるとしている。

安田²⁾らは溶接方法を改善し、結晶粒粗大化を低減することにより、UCCの発生は防止できるとしている。

6. 参考文献

- 1) 小平一丸：アンダークラッドクラッキングの発生に及ぼす熱サイクルおよび組織の影響（Japan Welding Society）
- 2) 安田功一：アンダークラッドクラッキングの発生機構とその対策（Japan Welding Society）
- 3) 堀谷貴雄：ISIJ '82-458