

C-08 TypeⅣクラッキング

1. 概要

溶接部の溶接熱影響部の細粒域のクリープ損傷を TypeⅣと呼んでいる。この領域のクリープ強度は、周囲の母材や溶接熱影響部粗粒域より低いために生じる。

2. 損傷を受ける材料

Cr-Mo 鋼溶接部（1Cr-0.5Mo、1.25Cr-0.5Mo、2.25Cr-1Mo、9Cr-1Mo 鋼等）

3. 損傷機構、損傷事例

火力発電所の高温部では各種 Cr-Mo が使用されている。例えば、主蒸気管、高温再熱蒸気管などの大径管には、2.25Cr-1Mo 鋼が広く用いられている。発電所の経年化が進み、10～20 万時間を越えるような長時間運転されると、これらの材料の溶接部では TypeⅣのクリープ損傷が問題となる。なお、溶接部のクリープ損傷は、その発生位置により以下のように分類される。

TypeⅠ：溶接金属内の縦方向あるいは横方向の損傷

TypeⅡ：TypeⅠ損傷の内、溶接熱影響部にまで達する損傷

TypeⅢ：溶接熱影響部の粗粒域の損傷

TypeⅣ：溶接熱影響部の細粒域の損傷

図 1 に TypeⅣクラッキングの例を示すが、損傷は主として応力の多軸度が高い肉厚内部で発生する。溶接部の溶接熱影響部の細粒域のクリープ強度が、周囲の母材や溶接熱影響部粗粒域より低いために生じる。その機構は、転位密度の減少と炭化物の粗大化によるクリープ抵抗の減少、粒界に偏析した不純物が粒界でのボイドの生成・成長を加速するなどがあげられる。最近、この現象に関して、実機で使用された 2.25Cr-1Mo 鋼の損傷形態の詳細な観察結果から、手塚は図 1 に示すようなメカニズムを提案している¹⁾。

すなわち、板材から加工され、所定の熱処理の後、溶接工程に供された素材

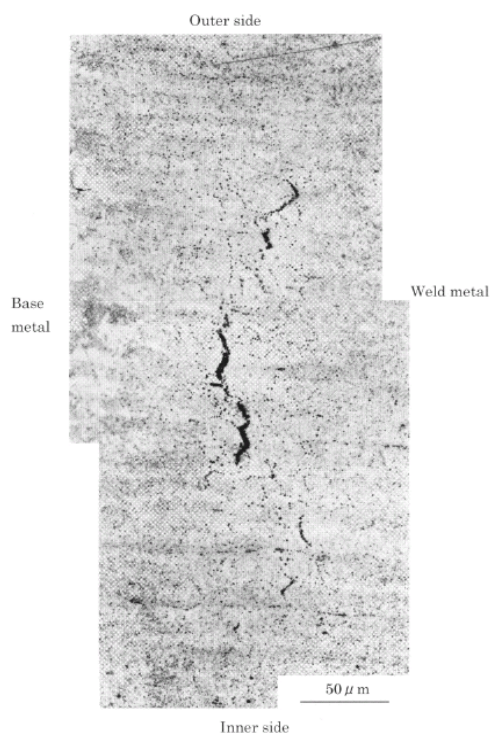


図 1 . 2.25Cr-1Mo 鋼溶接熱影響部細粒域のクラック¹⁾

の旧オーステナイトの一部に、粗大な $M_{23}C_6$ が存在する場合を考える ((a)上)。溶接工程では、入熱によってオーステナイト化温度域まで加熱され、その後すぐ冷却されるため、微細なベイナイト粒が形成されるが、 $M_{23}C_6$ に隣接した粒ではオーステナイト化した際に炭素を多量に固溶するものと考えられる。一方、 $M_{23}C_6$ に隣接していない粒では、炭素の含有量が異常に上昇することはない ((a)下)。炭素を大量に固溶したベイナイト粒 ((b)上) が実機で使用に供されると、時効によって大量の炭化物が析出すると考えられ、周辺の粒と比べて極端に炭化物の析出密度が高い粒が形成される。また、析出密度が極めて高くなった結晶粒界では、析出物が互いに連結して大きな板状となって粒界を覆ってしまう ((b)下)。これらの粗大な析出物と基材との境界部では、実機使用に伴ってクリープ損傷が蓄積するものと考えられ、比較的早期にクリープボイドが発生する ((c)上)。損傷がさらに蓄積すると、クリープボイドが互いに連結し、基材と析出物との間が剥離する ((c)下)。このような粒界剥離が、旧オーステナイト粒界に沿って形成された炭素を大量に固溶したベイナイト粒で発生するため ((d)上)、互いに距離が近く、容易に連結してマイクロキ裂の発生にいたる ((d)下)。

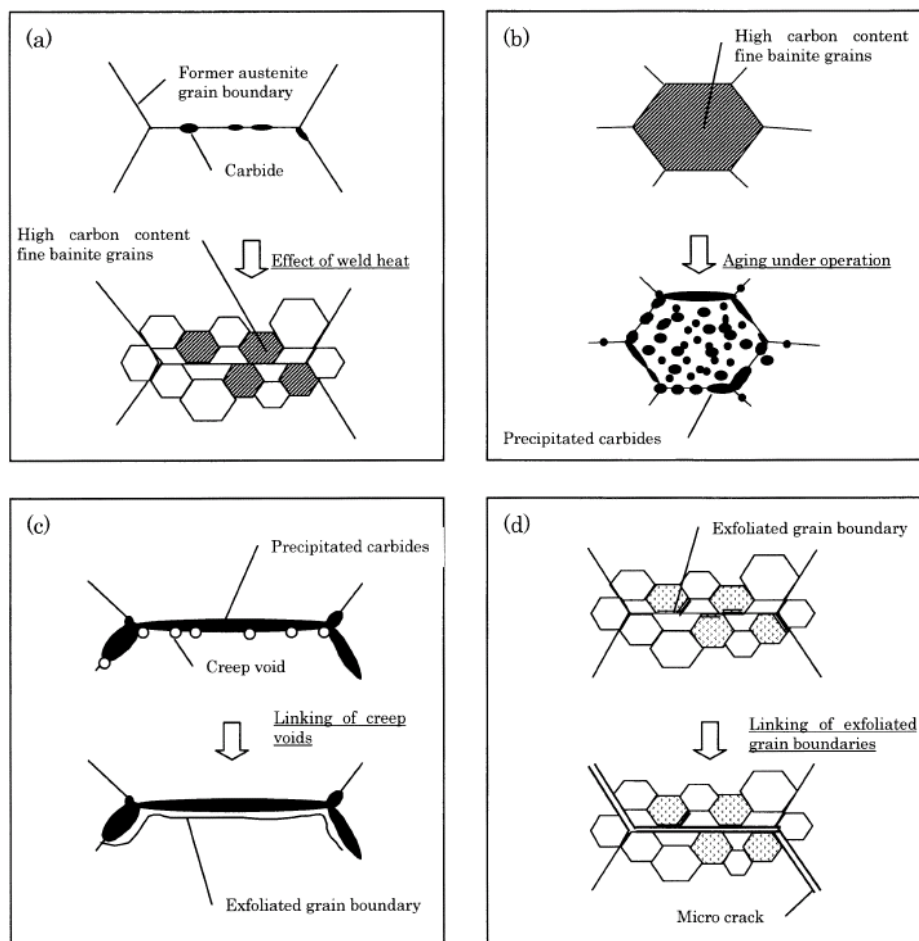


図 2. TypeIVクラッキング発生と進展モデル図 (a→b →c→ d) ¹⁾

なお、P や As 等の不純物元素は旧オーステナイト粒界に偏析するので、粒界損傷を助長する。

4. 対策

焼きならし処理を改善し、製造時に起因する図 2 (a 上)に示した旧オーステナイト粒界の炭化物を完全に固溶させることにより、溶接熱影響部に発生する炭素含有量が異常に高い細粒ベイナイトの発生を防止する。そのことにより、その後の炭化物凝集の発生～粒界剥離の発生を回避することが出来、TypeⅣクラッキングが抑制できる。

5. 参考文献

- 1) 手塚英志：鉄と鋼、Vol.89、No.12、1248～（2003）