

石川島播磨重工業(株)
同

技術研究所 ○野中 勇 鳥畑 政二 木原 重光
電力事業部 馬木 秀雄

1. 結 言

経年ボイラ部材には、プラントの起動・停止時の疲労損傷と、定常運転時のクリープ損傷が蓄積している。一般的に、応力が集中しない場所ではクリープ損傷が支配的であるが、応力集中部では疲労損傷を無視できない。図1⁽¹⁾は、304ステンレス鋼のクリープ疲労試験片の破壊形態を示したものであるが、クリープ破壊では、結晶粒界に発生したボイドが連結して微視き裂に成長するのに対して、クリープ疲労破壊では、粒界上のボイドを起点として微視き裂が発生していることがわかる。

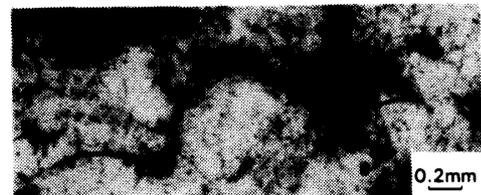
本報では、実機部材の2.25Cr-1Mo鋼におけるクリープ疲労損傷の形態を明らかにし、実機の損傷評価法について検討した。

2. 微視き裂法

本法は、既に、疲労損傷および比較的短時間の試験によるクリープ疲労損傷⁽²⁾⁽³⁾を計測できることが確認されている。図2は、2.25Cr-1Mo鋼におけるクリープ疲労微視き裂を疲労微視き裂と比較した結果である。疲労の場合は、き裂がすべり帯に沿って粒内を進展しているのに対し、クリープ疲労の場合は、き裂とボイドが共存し、き裂は粒界を進展していることがわかる。また、クリープ疲労寿命比は、ひずみ範囲やひずみ保持時間によらず、多数発生したき裂の内の最大長さで整理できることを明らかにした。図3は最大き裂長さとクリープ寿命比の関係を示したもので、損傷検定曲線として用いられている。

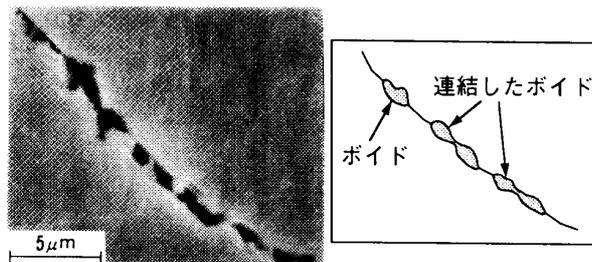


(a) 疲 勞 (570°C, $\Delta \epsilon_t = 1.0\%$)

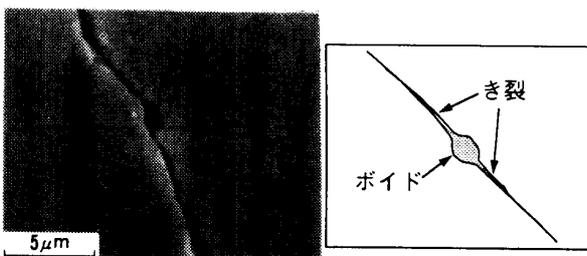


(b) クリープ疲労 (570°C, $\Delta \epsilon_t = 0.4\%$, $t_H = 10\text{min}$)

図2 2.25Cr-1Mo鋼の疲労き裂とクリープ疲労き裂の比較。



(a) クリープ (550°C, $\sigma = 176\text{MPa}$, $t_r = 20362\text{h}$)



(b) クリープ疲労 (550°C, $\Delta \epsilon_t = 1\%$, $t_H = 10\text{h}$, $N_f = 315$)

図1 304ステンレス鋼のクリープ破壊形態とクリープ疲労破壊形態の比較。

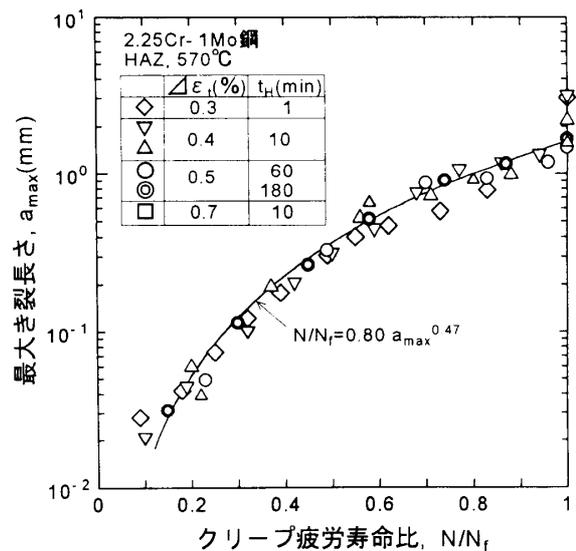


図3 微視き裂法におけるクリープ疲労損傷検定曲線。

3. 実機のクリープ疲労損傷形態

図4に実機の評価部位と観察位置を示す。いずれも、溶接止端部に曲げ応力が集中し、クリープ疲労損傷が発生し易いと考えられる。図4(a)は管寄せスタブで、管寄せに伝熱管がすみ肉溶接されている。管寄せに比べて、伝熱管の剛性が低いため、伝熱管側の溶接熱影響部に損傷が発生し易い。図4(b)は主蒸気管Yピースで、中央のY型鍛鋼品と配管が周溶接されており、配管の熱膨張により溶接熱影響部に損傷が発生し易い。図4(c)は配管管台で、配管同士がすみ肉溶接されており、溶接熱影響部に損傷が発生し易い。

図5に観察結果を示す。図5(a)の管寄せスタブでは、溶接熱影響部粗粒域の結晶粒界に沿って1mm程度のき裂が観察された。図5(b)の主蒸気管Yピースでは、多数のポイドと微視き裂が共存していることがわかった。また、走査型電子顕微鏡写真はき裂がポイドの連結ではなく、ポイドを起点とした割れであることを示している。図5(c)の配管管台では、溶接熱影響部粗粒域に微視き裂、細粒域にポイドが観察された。図5(a)と同様に、粗粒域に微視き裂が発生するのは、粗粒域に、最も応力が集中するためと思われる。

4. 実機の損傷評価

2. で述べた微視き裂法で図5(c)の配管管台の損傷を評価すると、最大き裂であるCき裂の長さは1mmであるので、図3の損傷検定曲線からクリープ疲労寿命比は0.8となり、80%寿命を消費していることになる。しかし、図6に示したように、クリープ疲労損傷は、クリープ損傷が板厚方向に比較的均一に発生するのに対し、溶接止端部に局在化するため、本例のような厚肉部では、同一のクリープ損傷値と比較して、安全裕度があると思われる。また、今後の余寿命を予測するためには、き裂進展評価を行う必要があると思われる。

5. 結言

実機のクリープ疲労損傷の特長としては、応力集中のために、溶接止端部の溶接熱影響部にポイドと微視き裂が局在化しながら共存し、微視き裂はポイドの連結ではなく、ポイドを起点として発生する傾向があることがわかった。損傷が局在化するため、微視き裂法による損傷評価は安全側になり、厚肉部材の場合は、き裂進展評価により余寿命を予測する必要があると思われる。

参考文献

- (1) 高速増殖炉研究開発の現状, PNC TN1410 92-011, 動力炉・核燃料開発事業団(1991)55.
- (2) 野中他, 材料, Vol. 41, No. 471(1992)1749.
- (3) 野中他, 日本機械学会第73期通常総会講演会講演論文集(II)(1996)151.

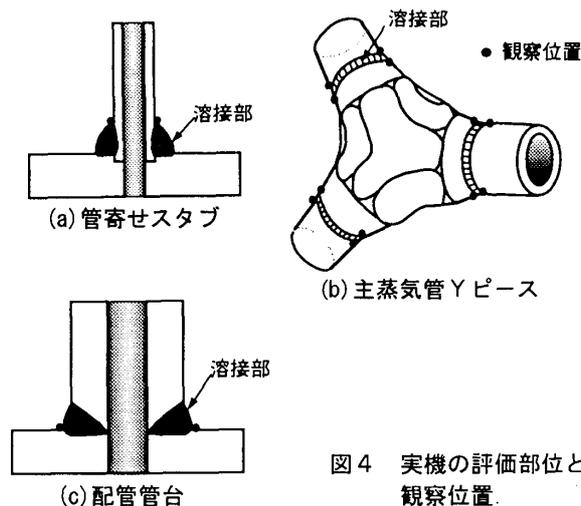


図4 実機の評価部位と観察位置。

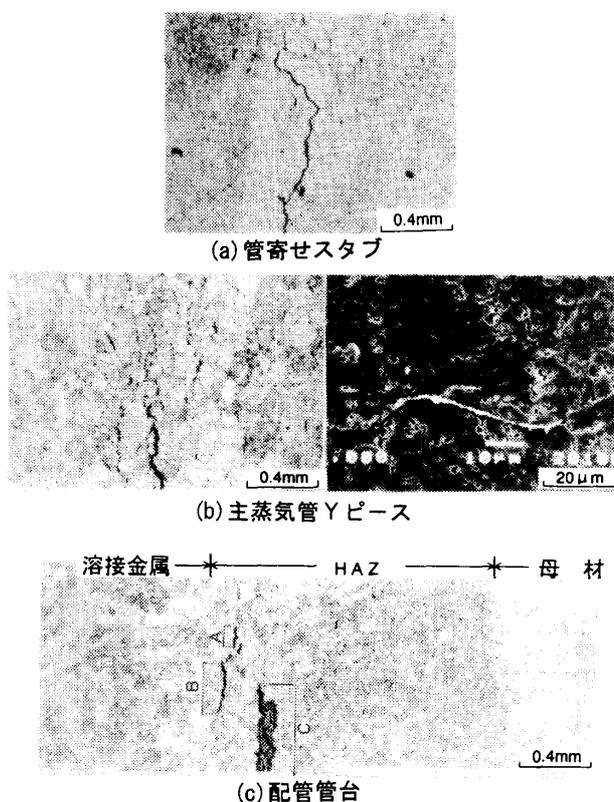


図5 実機表面レプリカの光顕およびSEM観察結果。

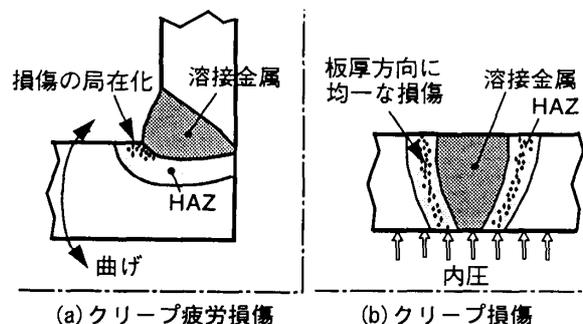


図6 クリープ疲労損傷とクリープ損傷の発生位置の比較。