

管台部内面に発生する亀甲状き裂の非破壊検査手法の開発

配管を切断しない内面点検技術

Development of a Non-Destructive Testing Method for Crack Networks Occurring on the Inner Surface of Small Bore Piping

Inner surface testing technique without cutting piping

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

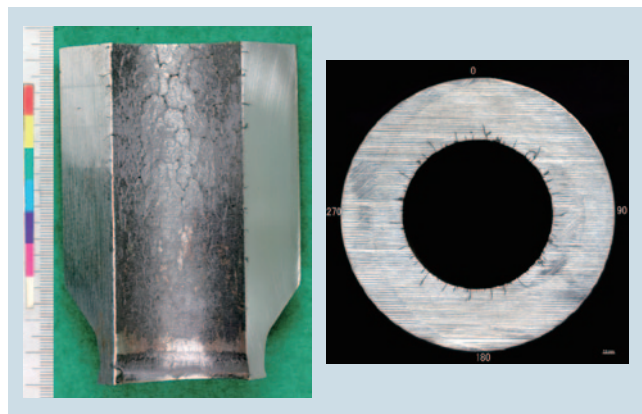
火力発電所主蒸気管等の管台部内面には亀甲状き裂が時々認められることから、現状、管を切断点検しており高額な費用を要している。そこで、亀甲状き裂の進展調査を行うとともにTOFD法(超音波探傷法のひとつ)を用いた非破壊検査手法を開発した。

(Materials Technology Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

On the inner surfaces of the piping of the main steam pipes or other parts of the thermal power plants, crack networks are sometimes observed. Currently, inspection is performed by cutting the pipes, which requires a large amount of maintenance fees. For this reason, Chubu Electric Power conducted an investigation of crack network propagation, and has developed a nondestructive testing method using the time-of-flight diffraction (TOFD) method, a type of technique for ultrasonic flaw detection.

1 研究目的

火力発電所主蒸気配管等の小口径管管台部については、ドレン逆流等の熱疲労損傷による亀甲状き裂の発生が認められるため(第1図参照)、現状、管を切断し点検しており高額な保守費用が必要となっている。また、高額な保守費用を投入し切断点検を実施しても亀甲状き裂の発生確率は過去の点検において10%以下である。そこで、非破壊手法による代替点検手法の開発およびその点検インターバルを設定するため亀甲状き裂進展メカニズムを調査した。



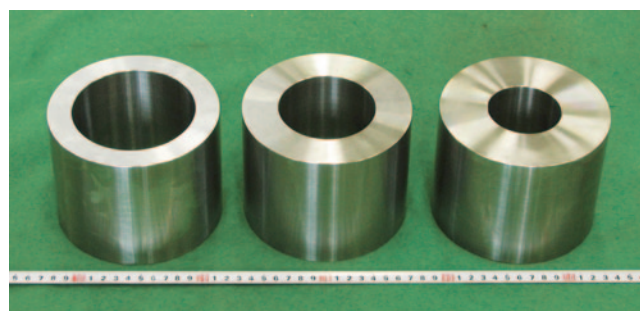
第1図 管台部の亀甲状き裂の例

2 研究結果

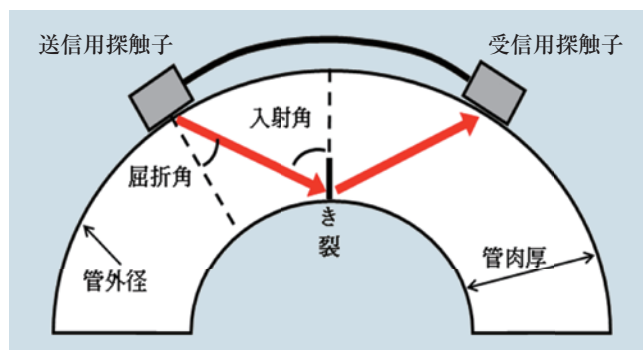
(1)非破壊検査手法の調査

管台内面の調査は、超音波探傷のうち第2図に示す送信用と受信用に分離した探触子を用いて、広がりのある回折波を使用するTOFD(Time Of Flight Diffraction)法が最適な検査手法と考えられた。

そこで、検査対象となる実機管台の形状を代表する9試験体<管外径φ90mm(肉厚t: 10、20、30mm)、φ110(肉厚t: 15、25、35)、φ140(肉厚t: 20、30、40)>を製作し(第3図参照)、この試験体へ縦スリット(深さ1、3、5mm、幅0.2mm)を内面へ加工し疑似欠陥とした。



第3図 試験体の例(管外径φ140mm)



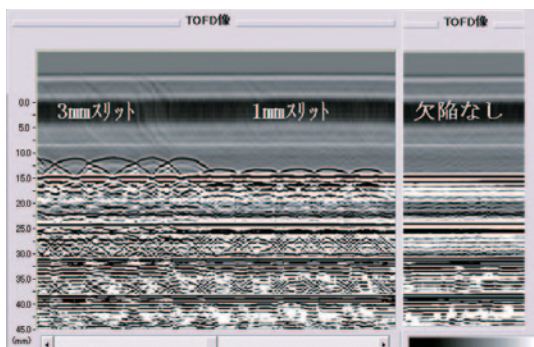
第2図 TOFD法の概要

次に、この疑似欠陥を検出するためのTOFD用探触子仕様を調査・検討した結果、き裂への入射角が40~60°となる条件において高精度な検出が可能であることが分かり、前述の9試験体を検査するためには各外径用(3種類)×薄肉・厚肉用(2種類)の計6組の探触子で対応できることが分かった。

そのため、試験体に適合したTOFD用探触子を計6組試作し検出精度を確認した結果、第4図に示すとおり各試験体で深さ1mmのスリットを検出できた。さらに、検出範囲を調査した結果、主ビームがき裂に当たる場合には入射角30~65°、入射角40~60°であれば主ビー

ムから±20°の範囲内において、深さ1mmのスリットが検出可能と判明した。よって、この6組の探触子を組合せ適用すると管外径φ80~150mm、肉厚10~40mm程度における深さ1mmの内面き裂はいずれも検出可能であることが分かった。

最後に、これらの探触子を用いて実機管台を検査した結果、作業性に問題ないことが確認できた。



第4図 TOFD画像の例(試験体計測結果)

(2) 亀甲状き裂進展メカニズムの調査

ア 実機損傷材の調査

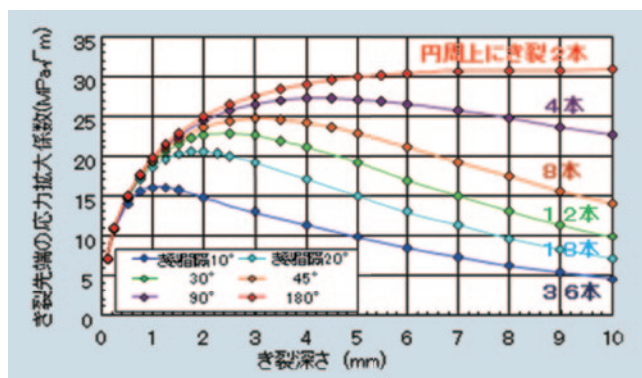
実機損傷材(φ110、t25、2.25Cr鋼)における亀甲状き裂を観察した結果、第1図に示すとおり管台部肉厚の内面から約30%内だけにき裂が発生しており、き裂先端はき裂方向が変化し、き裂進展の鈍化が想定された。

また、き裂は厚い酸化スケールに覆われており、2.25Cr鋼の水蒸気酸化スケール成長曲線(EPRI)より、き裂発生から約7万時間経過していることが推定できた。

イ 熱応力解析による調査

実機損傷材と同じ形状の管台を想定した解析モデルを作成し、亀甲状き裂が発生したと想定される実機の温度条件(100℃⇔300℃)を入力して熱応力解析を実施した結果、管台部内面に降伏応力を超える熱応力が発生し、内面からき裂が生じる可能性が確認できた。

また、管台部に発生する亀甲状き裂先端の応力状態を確認するため、解析モデルに疑似き裂(管長手方向に平行な多数のき裂)を設定し解析した結果、第5図に示すとおりき裂はき裂間隔が小さくなる(き裂が多くなる)、ま



第5図 き裂数およびき裂進展に伴うき裂先端応力の変化

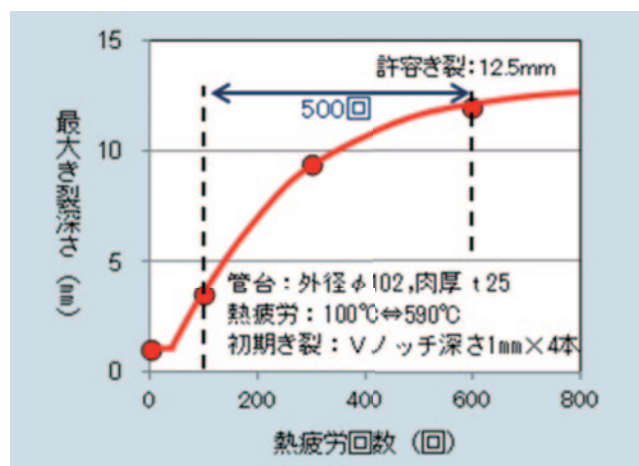
たはき裂が肉厚方向に成長するにつれて、そのき裂先端に作用する応力が低下することが確認できた。

ウ 熱疲労試験による調査

実機損傷材とほぼ同じ形状(φ102、t25)、ほぼ同じ材質(1.0Cr鋼)の試験管台を作製し、実機温度条件(100℃⇔300℃)から厳しくした条件(100℃⇔590℃)で熱疲労試験を実施した。その結果、300回の熱疲労回数ではき裂は発生しなかった。

次に、熱疲労によるき裂進展を調査するため、予めき裂の起点として深さ1mm×長さ30mmのVノッチ4本を同じ試験管台の内面長手方向に加工し同温度条件(100℃⇔590℃)で熱疲労試験を実施した結果、第6図に示すとおりき裂を検出してから500回の熱疲労を付与しても許容き裂内であった。

従って、当熱疲労試験は厳しい温度条件であることおよび熱疲労試験はVノッチ4本(き裂4本)で実機の亀甲状き裂(き裂約30本)と比較してき裂本数が少なくき裂先端に作用する応力が実機の約2倍以上(第5図)となること等から、当検査の実施結果異常が無ければあと500回の起動停止は運転可能と判断できた。



第6図 熱疲労試験におけるき裂成長傾向

3 研究成果

非破壊検査手法(TOFD法)を用いて管台部内面における1mmのき裂検出が可能であることが確認できた。

なお、開発したTOFD用探触子は、管外径φ80~150mm、肉厚10~40mm程度の管台および管を対象に検査が可能である。

また、亀甲状き裂において肉厚方向のき裂進展は非常に遅く鈍化しており、過酷な条件においても起動停止500回以内という点検インターバルを提案することができた。



現所属: 火力センター
工事管理部 定検第二課
執筆者 / 松村重文