1300℃級ガスタービン動翼の解析的寿命評価法の開発

背 景

ガスタービン(GT)を保有する電力各社では、GTの適切な保守運用によるコスト低減のため、部品単価の高い動翼のき裂発生寿命評価法の開発に対するニーズは極めて高い。当所では、これまで1100℃級GT動翼(多結晶超合金IN738LC)を対象に、温度、応力状態を明らかにするとともに、それに基づき多軸熱疲労条件下でのき裂発生寿命を推定する寿命評価法を提案した。最近では、より入口ガス温度の高い1300℃級GTが主力機として運用実績を伸ばしてきており、同機の的確な保守・管理のためには厳しい温度、応力条件下におかれる一方向凝固超合金(DS超合金)製動翼の寿命評価法の開発が重要な課題となっている。

目 的

1300℃級GT動翼の応力-ひずみ解析および寿命評価に適用できる構成式および熱疲労き裂発生寿命評価法を開発するとともに、これらを解析コードに組み込んだGT動翼寿命評価システムを構築する。

主な成果

- 1. 一方向凝固超合金の熱疲労寿命評価法の開発
 - (1) 等方材料である IN738LCで用いた基準値 "ミーゼス相当ひずみ範囲" によってDS超合金の多軸熱疲労 寿命を整理した場合、寿命が最大せん断ひずみに加え、その面上の垂直ひずみに依存するため、整理で きないことが明らかとなった (図1 (a))。そこで、 Γ -plane 理論*1に基づき、最大せん断ひずみとそ の面上の垂直ひずみをパラメータとする基準値 "等価せん断ひずみ範囲" を導出した。これによって、 多軸熱疲労寿命を統一的に整理することができた (図1 (b))。また、実機と同等のコーティングを施した材料では、基材のみの寿命に比べ1/2程度に低下することが明らかとなった (図1 (b))。
 - (2) 1100℃GT動翼に適用した寿命評価法に"等価せん断ひずみ範囲"を導入し、1300℃GT動翼に適用する評価法として改良した(図2(a))。同評価法により、実機を模擬した最高温度でひずみ保持(定格 運転に相当)のある熱疲労寿命を1/1.5倍~1.5倍の範囲内で良好に推定することができた(図2(b))。
- 2. 1300℃級GT動翼のき裂発生寿命評価システムの構築

当所が開発したDS超合金の応力-ひずみ関係を精度よく記述できる非弾性構成式および上述した熱疲労寿命評価法を組み込んだ有限要素解析をベースとする1300℃級動翼のき裂発生寿命評価システムを構築した。本システムによって、GTの運転過程で初段動翼に作用する温度、応力状態を明らかにした(図3)。また、得られた温度・応力から翼高さ中央部翼周りの熱疲労寿命を推定した結果、寿命の逆数として表される損傷率(1回の起動停止で受ける損傷)は、動翼前縁部近傍の背側で最も大きくなること、前縁部および腹側中央部でもこの値の0.6~0.4倍と比較的大きいことが明らかとなった(図4)。

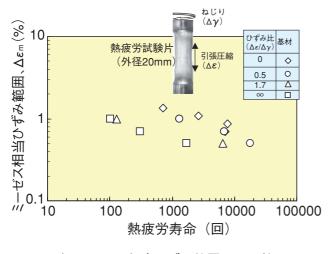
今後の展開

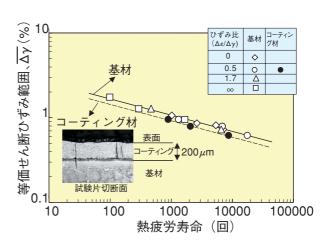
本研究において1300℃級GT動翼のき裂発生寿命評価システムが構築されたことから、本システムを実機GT動翼の寿命評価に活用する。また、DS超合金のき裂伝ば特性を明らかにし、本システムにき裂伝ば解析機能を付与する改良を進める。

主担当者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 緒方 隆志 主任研究員 酒井 高行

関連報告書 「Ni基一方向凝固超合金の高温強度評価法の開発第5、6報」電力中央研究所報告:印刷中

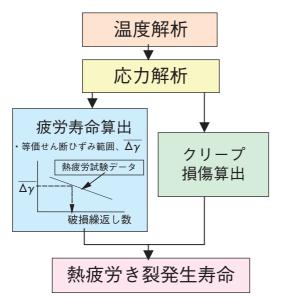
*1:多軸応力下の疲労き裂の発生、成長に最大せん断ひずみとその面上の垂直ひずみが支配因子となるとする考え方

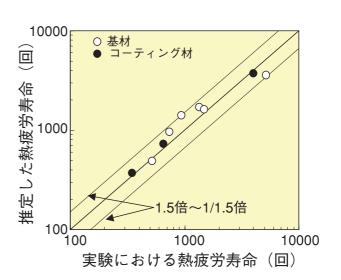




- a) ミーゼス相当ひずみ範囲による整理
- b) 等価せん断ひずみ範囲による整理

図1 ひずみ基準パラメーターによる多軸熱疲労寿命の整理結果





- a) 1300℃級GT動翼寿命評価の流れ
- b) 推定寿命と実験で得られた寿命の比較

図2 1300℃級GT動翼の熱疲労寿命評価法と提案法に基づく寿命推定結果

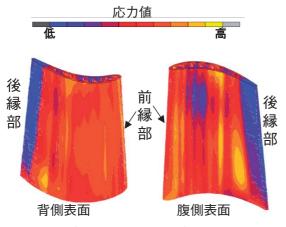


図3 初段動翼の応力分布解析結果

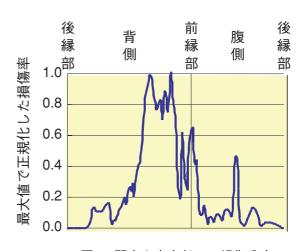


図4 翼高さ中央部での損傷分布