

# ガスタービン遮熱コーティング (TBC) の剥離寿命評価

TBC補修実施時期の最適化を目指して

## Evaluation of Delamination Life for Thermal Barrier Coatings on Gas Turbines

Aimed at the Establishment of Suitable Intervals for TBC Repair

(電力技術研究所 原子力・材料G 材料T)

火力発電用ガスタービン動翼では、長時間使用に伴い運転中に表面のTBCが剥離する場合がある。そこで、TBC剥離機構および剥離寿命を検討した。その結果、運転中にTBC内部で成長する酸化層が厚くなると剥離が発生することが分かり、剥離の危険性が生じる酸化層厚さを明確にできた。

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

As gas turbine blades for thermal power plants have been operating for a long time, the TBC on the surface of the gas turbine blades may delaminate. Therefore, we studied how TBC delamination occurs and when delamination takes. As a result, we found that delamination occurs when the oxide layer of the TBC thickens. We also determined the oxide layer thickness that causes delamination.

### 1 背景および目的

火力発電用ガスタービン動翼では、燃焼ガスの高温化に伴い、メタル温度や熱応力の低減を目的として遮熱コーティング (Thermal Barrier Coating : TBC) が適用されている。TBCにより動翼の損傷が軽減されているが、運転中の厳しい環境によりTBCの剥離が発生する場合がある。TBCの剥離が発生した場合、母材に対する遮熱効果が失われることから、動翼飛散などの損傷に繋がる危険が考えられるため、TBC剥離寿命を評価・予測できれば、動翼信頼性の向上や補修実施時期の最適化に寄与できる。

そこで、三菱重工業 (株) と共同で、TBCの剥離寿命を評価・検討した。

### 2 研究概要

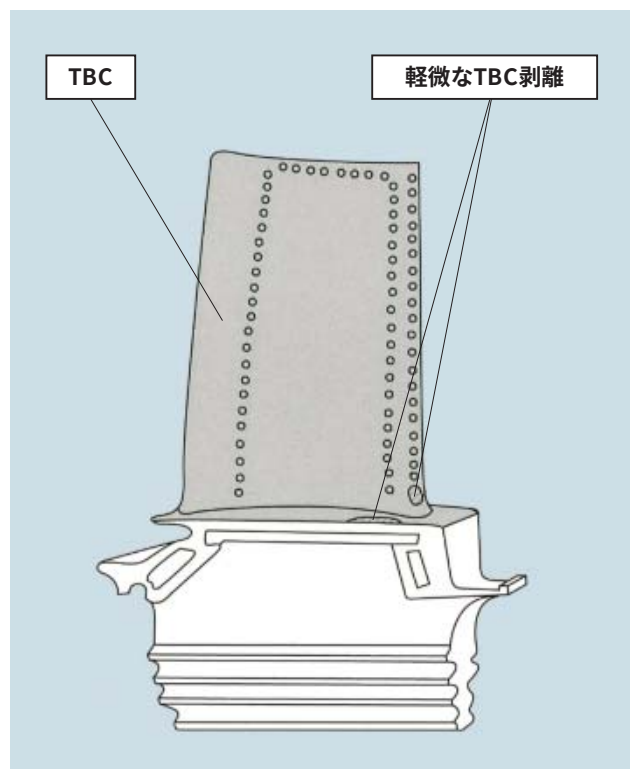
本研究では、実機で使用されTBCに剥離が認められた動翼を対象に、TBCの損傷状況を調査した。また、動翼表面から切り出したTBC実機試験片および電気炉で長時間熱時効したTBC実機模擬試験片を作製し、起動停止に伴う熱負荷を模擬した熱サイクル試験を行い、これらの結果からTBC剥離寿命を検討した。

### 3 研究成果

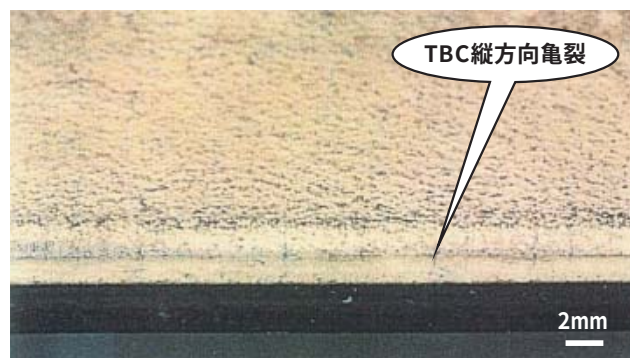
#### 3-1 実機動翼の損傷調査

第1図に示すように、TBCは動翼の翼部およびプラットホーム部に適用されている。第1、2図に示すように、約2年間の運転後に観察したTBCは、前縁部やプラットホーム部端面の一部に極軽微な剥離や縦方向亀裂が認められたものの、総じて健全であった。極軽微な剥離が認められた前縁部近傍のTBC断面マイクロ組織を第3図に示す。TBCのトップコートとアンダーコートの界面を進

展する亀裂が観察され、TBCの上部には運転中の付着物、アンダーコートには酸化層 (熱成長酸化物) が認められる。トップコート亀裂部位での酸化層厚さは約20  $\mu\text{m}$ で、健全部と比べ酸化層が厚く成長していた。また、

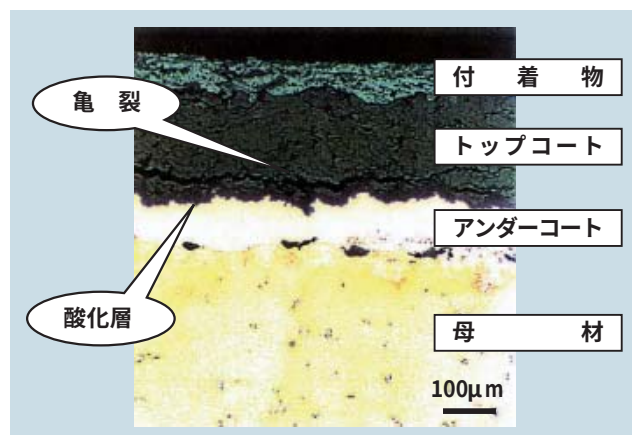


第1図 TBC施工部位と実機使用後の剥離部位



第2図 TBC縦方向亀裂の状況

TBC剥離部位での母材強化相 ( $\gamma$  相) は、他の部位と比較してやや粗大化しており、剥離部直下における母材のメタル温度は他の部位と比較して高い傾向にあった。



第3図 剥離部近傍のTBC断面組織

### 3-2 熱サイクル試験

第4図に示すレーザ加熱式熱サイクル試験装置により熱サイクル試験を行った。試験片表面のTBCを加熱するとともに、試験片裏面(母材)を冷却し、試験片内部に実機動翼と同様に温度勾配を付与した状態で熱サイクルを负荷した。熱サイクル試験中の試験片外観を第5図に示す。試験片表面に剥離や亀裂の発生を確認できた時点で試験を終了した。

熱サイクル試験の結果、実機試験片や非熱時効試験片あるいは短時間熱時効した試験片では、1000回までの熱サイクルを与えても剥離は発生しなかったが、長時間熱時効した試験片では熱サイクル試験中に剥離が生じ



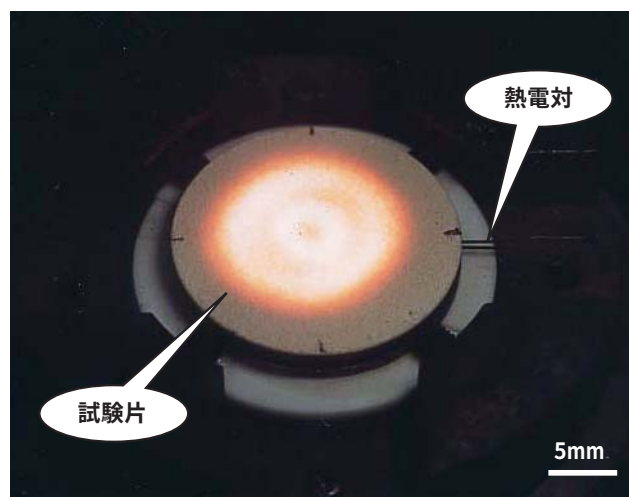
第4図 熱サイクル試験装置

た。剥離は試験片中央部で発生し、第3図に示した実機と同様な剥離形態で、連続的な横方向亀裂が観察された。

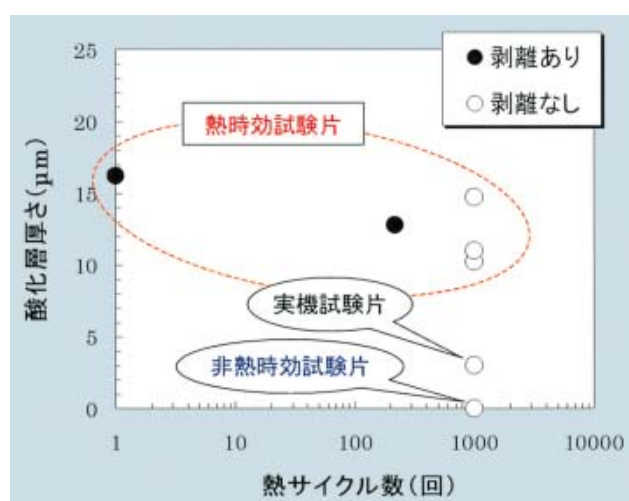
熱サイクル試験後の試験片端部の断面組織から求めた酸化層厚さと熱サイクル数の関係を第6図にまとめる。結果にはばらつきが認められるものの、酸化層厚さが13μm以上に成長し、熱サイクルを受ける場合、剥離が発生する可能性があるとして評価できた。

## 4 まとめ

本研究の結果、運転中にTBC内部で成長する酸化層が厚くなると剥離が発生し、13μm以上で剥離発生の可能性があると評価できた。本研究成果は、TBC補修実施時期の策定などガスタービン動翼の保守に活用されている。



第5図 熱サイクル試験中の試験片外観



第6図 熱サイクル数と酸化層厚さの関係



執筆者／伊藤明洋  
Itou.Akihiro3@chuden.co.jp